

Niko Mäkitalo

Kalkkimaidon tuotantoprosessin käyttövarmuuden parantaminen kriittisyysluokituksen ja vika- ja vaikutusanalyysin avulla

Terrafame

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Syksy 2017



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tiivistelmä

Tekijä: Mäkitalo Niko

Työn nimi: Kalkkimaidon tuotantoprosessin käyttövarmuuden parantaminen kriittisyysluokituksen ja vika- ja vaikutusanalyysin avulla

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Asiasanat: Kriittisyysluokittelu, PSK 6800, vika- ja vaikutusanalyysi, VVA, kunnossapito, käyttövarmuus

Tämä opinnäytetyö on tehty Terrafame Oy:n kunnossapidon toimeksiannosta. Sen tarkoituksena oli suorittaa Terrafamen kalsiumhydroksidin tuotantoprosessin päälaitteille kriittisyysluokittelu sekä vika- ja vaikutusanalyysi.

Kalsiumhydroksidia, kutsumanimeltään kalkkimaito, valmistetaan yksinkertaistaen sekoittamalla kalsiumoksidia ja vettä. Valmistaa tuotetta käytetään kaivoksen vesien käsittelyn prosesseissa. Työn tavoitteena oli parantaa käsiteltävän prosessin käyttövarmuutta ja luoda samalla pohjaa yrityksen sisäiselle käytännölle kriittisyysluokituksen ja vika- ja vaikutusanalyysin läpiviemisestä.

Kriittisyysluokitus suoritettiin kansallisen PSK 6800 -standardin mukaisesti. Siihen otettiin mukaan kalkkimaidon tuotantoprosessin päälaitteet, eli käsittelyssä eivät olleet esimerkiksi automaatiolaitteet tai putkistot. Kriittisyysluokituksen tavoitteena oli saada tuotantoprosessista esille kriittiset laitteet, joiden kunnossapitoon tulisi kohdentaa lisää resursseja.

Kriittisyysluokituksen suoritus aloitettiin kokoamalla käsiteltävät laitteet standardin lomakkeelle ja määriteltiin näille tuotannon menetyksen painoarvo. Tämä kuvaa niiden toimimattomuuden vaikutusta tuotantoprosessille. Tämän jälkeen laitteiden kriittisyys määriteltiin niiden vikaantumisvälin sekä keskimääräisen vikaantumisen aiheuttaman tuotannon menetyksen, turvallisuus- ja ympäristövaikutuksen sekä laatu- ja korjauskustannusten kannalta. Näiden määrittämiseen vaadittava data kerättiin Maximo-kunnossapitojärjestelmästä ja haastattelemalla tuotantoprosessin kanssa työskenteleviä henkilöitä. Kriittisyysluokituksen tuloksena laitteet saatiin järjestettyä niiden kriittisyyden mukaan ja niistä valikoitui 14 kriittisintä mukaan vika- ja vaikutusanalyysiin.

Kriittisille laitteille etsittiin vika- ja vaikutusanalyysin avulla, mistä niiden vikaantuminen muodostuu, mikä vikaantumiseen johtaa ja mitä seurauksia vikaantumisella on. Analyysin avulla päästiin kiinni vikaantumisen juurisyihin ja siihen, miten vikaantumista voisi ehkäistä. Analyysin tuloksena saatiin tehtyä toimenpidesuosituksia mm. laitteiden ennakkohuoltoon tai rakenteen muuttamiseen. Näitä olivat esimerkiksi laitteen rakenneosan vaihtovälin tihentäminen tai rakenneosan muuttaminen kestävämpään.

Työn tärkeintä tavoitetta, eli kalkkimaidon tuotantoprosessin käyttövarmuuden paranemista, ei voi suoraan arvioida vielä tässä vaiheessa vaan vasta vuosien kuluttua. Oletettavaa on, että kun työn tuloksena tulleet toimenpidesuositukset viedään läpi, tulee prosessin käyttövarmuus kasvamaan, kun yllättäviä vikaantumisia saadaan vähennettyä varsinkin prosessille kriittisiltä laitteilta. Lisäksi työn ansiosta kunnossapidon resurssien kohdentaminen prosessin käyttövarmuuden kannalta tärkeimpiin laitteisiin helpottuu.

Työn tuloksena saatiin luotua myös hyvää pohjaa kriittisyysluokituksen ja vika- ja vaikutusanalyysin läpi viemiseksi kaivoksen muissa osaprosesseissa. Kalkkimaidon tuotantoprosessille tässä työssä läpi vietyä tarkastelua ei ole tarkoitus jättää kertaluontoiseksi vaan sitä päivitetään, kun saadaan riittävästi vikaantumisdataa siitä, kuinka toimenpidevaikutukset vaikuttivat eri laitteiden vikaantumiseen.

Abstract

Author: Mäkitalo Niko

Title of the Publication: Criticality Classification, Failure Mode and Effects Analysis of Calcium Hydroxide Production

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: Criticality classification, PSK 6800, failure mode and effects analysis, FMEA, reliability, maintenance

This thesis was made for Terrafame Ltd. commissioned by its maintenance department. The purpose of the thesis was to perform criticality classification, as well as failure mode and effects analysis for the main devices of Terrafame's calcium hydroxide production with the purpose to increase its reliability. The secondary purpose was to lay the foundations for the same process to be performed in other sub-processes inside the Terrafame Sotkamo mine.

Calcium hydroxide is made simply by mixing together calcium oxide and water. The product is an alkaline solution that can be used in the water treatment processes to neutralize waters that cycle inside the mine's production process or are pumped into nature.

Criticality classification was performed using the Finnish PSK 6800 standard, which gives the guidelines how the classification should be performed. It included the main devices of calcium hydroxide production, so it did not include, for example, automation devices or pipelines. The goal of the criticality classification was to reduce critical devices from the production process and to define where more resources need to be allocated for maintenance.

Performing of the criticality classification was started by specifying the scope of the evaluation and by summoning the devices that were to be handled in the classification to the program provided by the PSK 6800 standard. The first step was to determine the weighting factor of production loss for each device. It represents how the non-operation of each device affects the production process. Next, the criticality of each device was determined by time between devices failures, and for the average failure by production loss, safety, and environmental risks and quality and repair costs. The data needed to define these factors was gathered from the Maximo maintenance system and by interviewing people who work with the production process regularly. Finally, the program calculated the criticality index for each device and the criticality classification was carried out by sorting the devices into order according to the criticality index. The most critical 14 devices were selected to be handled in the failure mode and effects analysis.

In the failure mode and effects analysis it was determined what failures are causing the malfunction of the device, what failure mode is causing the failure and what effects does the failure have. With the analysis it could be specified what the root cause for each failure mode is and what can be done to prevent them. By the result of the analysis it could be defined what changes need to be made, for example, in the preventive maintenance or the structure of the device.

The accomplishment of the main goal of the thesis, to increase the reliability of calcium hydroxide production, can be determined only after a year or two. The reliability of a process cannot be changed overnight with immediate results. However, it is to be expected that when the specified changes for each device are carried out, the reliability of the process will increase, as there will be less unexpected failures in the critical devices of the process. Also as a result of the work, it will be easier to allocate maintenance resources to the devices that have the biggest impact on the reliability of the process. In addition, the secondary goal of the thesis was met, as the thesis lays the foundation of the same analysis process to be carried out in the other sub-processes of the Terrafame mine.

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on suoritettu Terrafame Oy:n kunnossapidon toimeksiannosta. Haluan kiittää työn toimeksiantajaa kunnossapitopäällikkö Sampo Jauhiaista mahdollisuudesta opinnäytetyön tekemiseen ja haastavan aiheen löytämisestä, sekä työn suorituksen tukemisesta.

Haluan kiittää myös varaosainsinööri Tomi Korhosta sekä Kajaanin ammattikorkeakoulun opettaja Mikko Heikkistä työn ohjauksesta. Lisäksi kiitos kehitysinsinööri Joni Seiloselle, tuotannon käyttöinsinööri Jarkko Korhoselle sekä Ramentor Oy:n Turkka Lehtiselle hyvistä neuvoista ja työhön osallistumisesta.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Terrafame Oy	3
2.1	Yleistä	3
2.2	Terrafamen Sotkamon kaivoksen tuotantoprosessi	3
3	Kunnossapito	5
3.1	Kunnossapidon määritelmä	5
3.2	Käyttövarmuus	6
3.2.1	Toimintavarmuus	7
3.2.2	Kunnossapidettävyyys	7
3.2.3	Kunnossapitovarmuus	8
3.3	Kunnossapitolajit	9
4	Kunnossapito Terrafamessa	12
4.1	Kunnossapidon organisointi	12
4.2	Maximo-kunnossapitojärjestelmä	12
4.2.1	Yleisesti	12
4.2.2	Käyttöpaikka ja laite	13
5	Kalkkimaidon tuotantoprosessi	14
5.1	Yleistä kalkkimaidon tuotannosta	14
5.2	Kalkkimaidon tuotanto palamuotoisesta kalsiumoksidista	14
5.3	Kalkkimaidon tuotanto hienojakoisesta kalsiumoksidista	16
5.4	Kalkkimaidon jakelu ja käyttö	17
6	Kriittisyysluokittelu PSK 6800 -standardin mukaisesti	18
6.1	Tuotannon menetyksen painoarvon määrittäminen	18
6.2	Laitteiden kriittisyyden määrittäminen	20
6.3	Kriittisyysluokituksen tulokset	21
7	Vika- ja vaikutusanalyysi	23
7.1	Yleistä	23
7.2	Tiedonhankinta	23
7.3	Vikaantumismallit	24
8	Nykytilanteen kuvaus	26

9	Kriittisyysluokituksen suoritus.....	27
9.1	Käsiteltävien käyttöpaikkojen kokoaminen	27
9.2	Tuotannon menetyksen painoarvon määrittäminen	28
9.3	Vikaantumisvälin määrittäminen	30
9.4	Turvallisuuden painoarvokertoimen määrittäminen	31
9.5	Ympäristöriskin painoarvokertoimen määrittäminen	32
9.6	Tuotannon menetyksen painoarvokertoimen määrittäminen.....	33
9.7	Korjauskustannusten painoarvokertoimen määrittäminen	33
9.8	Laatukustannusten määrittäminen.....	34
10	Kriittisyysluokituksen tulokset.....	36
11	Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA) kriittisille laitteille.....	37
11.1	Vika- ja vaikutusanalyysin suoritus	37
11.2	Vika- ja vaikutusanalyysin tulokset	39
12	Tulosten tarkastelu.....	40
13	Yhteenveto.....	42
	Lähteet.....	43
	Liitteet	

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty Terrafame Oy:n Sotkamon kaivoksen kunnossapidon toimeksiannosta. Vuonna 2015 alkaneen kaivoksen tuotantoprosessin ylösajon ja tuotantoprosessien käyttöasteen kasvun myötä vaatimukset prosessien käyttövarmuudelle ovat kasvaneet. Tämä aiheuttaa paineita myös kunnossapidolle, koska laitteita ei ole varaa seisottaa vikatilassa. Toisaalta kunnossapidon resurssit ovat rajalliset ja niiden kohdentaminen sinne, missä saadaan suurin vaikutus prosessin käyttövarmuuteen, on ensisijaisen tärkeää toiminnan tehokkuuden kannalta.

Osalle prosessin laitteista on olemassa kattavatkin ennakko- ja huoltostrategiat, mutta ne ovat muodostuneet pääosin laitoksen rakentamisvaiheessa laitevalmistajan suositusten perusteella tai aikojen saatossa havaituille käytännöille. Ennakko- ja huoltostrategioita ei ole mietitty laitteen kriittisyyden tai vikaantumisen perusteella kovinkaan laajasti. Tämä johtaa siihen, ettei kunnossapidon resurssien käyttö ole niin tehokasta kuin se voisi olla. Lisäksi työn suorituksen aikana kävi ilmi, ettei osalle, jopa tuotannolle hyvinkin kriittisistä laitteista ole minkäänlaista ennakko- ja huolto-ohjelmaa ja nämä pääsääntöisesti korostuivatkin vikaantumistiheyttä tarkasteltaessa.

Työn tarkoituksena oli tehdä PSK 6800 -standardin mukainen kriittisyysluokittelu sekä vika- ja vaikutusanalyysi Terrafamen kalkkimaidon tuotantoprosessin päälaitteille. Kalkkimaitoa käytetään kaivoksen tuotantoprosessissa vesienpuhdistukseen. Tavoitteena oli saada kriittisyysluokituksen avulla esille tuotantoprosessin kriittiset laitteet ja näin löytää ne kohteet, joiden kunnossapitoon tulisi kohdentaa lisää resursseja. Kriittisille laitteille tehtiin aiheita käsittelevien standardien mukainen vika- ja vaikutusanalyysi, jonka avulla saatiin selvitettyä, kuinka nämä laitteet vikaantuvat ja mistä niiden vikaantuminen johtuu. Tähän perustuen vika- ja vaikutusanalyysissä tehtiin toimenpidesuosituksia siitä, miten näiden laitteiden kunnossapitoa voidaan kehittää. Tämä voi tarkoittaa muutoksia ennakko- ja huoltostrategiaan tai vaikkapa laitteen rakenteeseen.

Näiden toimenpiteiden avulla pyritään saavuttamaan työn ensisijainen tavoite, joka oli parantaa kalkkimaidon tuotantoprosessin käyttövarmuutta. Työn toissijainen tavoite oli luoda myös pohjaa Terrafamen sisäiselle standardille siitä, kuinka kriittisyysluokittelu ja vika- ja vaikutusanalyysi suoritetaan. Tässä opinnäytetyössä kuvattu prosessi on tulevaisuudessa tarkoitus viedä läpi koko kaivoksen tuotantoprosessissa.

Tässä opinnäytetyössä taustoitetaan ensin Terrafamea yrityksenä sekä kunnossapidon, kriittisyysluokituksen, vika- ja vaikutusanalyysin ja käsiteltävän tuotantoprosessin teoriataustaa. Lisäksi kuvataan työn taustalla vaikuttavaa nykytilannetta. Tämän jälkeen siirytään työn suoritukseen ja siihen, kuinka kalkkimaidon tuotantoprosessin laitteiden kriittisyysluokittelu ja vika- ja vaikutusanalyysi suoritettiin sekä mitä tuloksia niiden avulla saavutettiin. Lopuksi tarkastellaan tuloksia ja määritellään, päästiinkö työlle asetettuihin tavoitteisiin.

2 Terrafame Oy

2.1 Yleistä

Terrafame Oy on suomalainen monimetalliyhtiö, joka tuottaa nikkeliä, sinkkiä, kuparia ja kobolttia Sotkamossa sijaitsevalla kaivoksellaan ja siihen liittyvällä metallitehtaalla. Terrafame Oy osti elokuussa 2015 kaivoksen liiketoiminnan ja omaisuuserät Talvivaara Sotkamo Oy:n konkurssipesältä, ja jatkaa näin kaivostoimintaa Sotkamossa. Terrafame Oy:n suurimmat omistajat ovat valtion kokonaan omistama erityistehtäväyhtiö Terrafame Group 84,2 prosentin osuudella sekä kansainvälinen sijoitusyhtiö Galena 15,5 prosentin osuudella. Lisäksi pienempiä osuuksia on kansainvälisellä metalli-, öljy- ja mineraalikauppaa tekevällä Trafigura-konsernilla sekä pankki- ja sijoitustoimintaa harjoittavalla Sampo Groupilla. [1.]

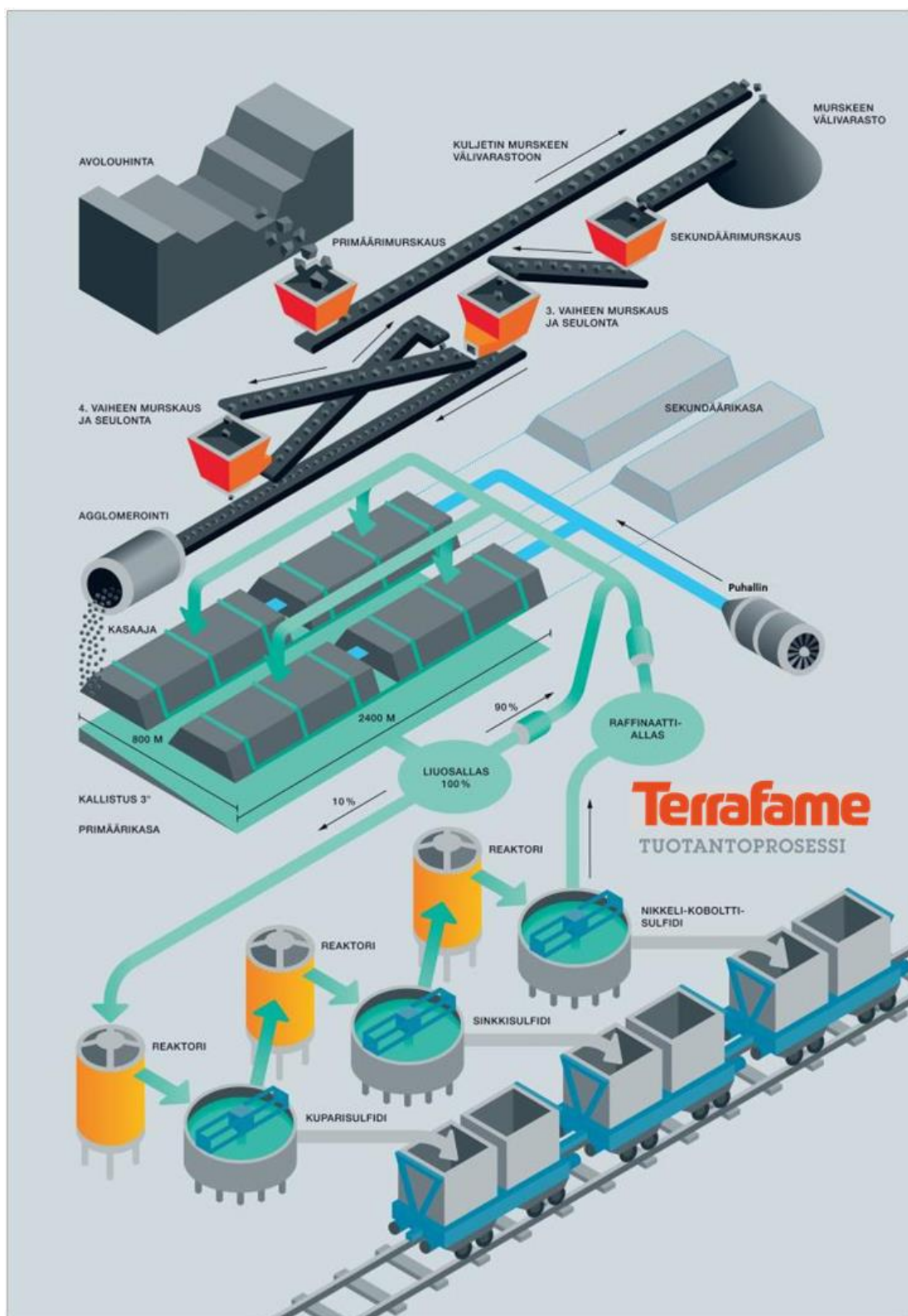
2.2 Terrafamen Sotkamon kaivoksen tuotantoprosessi

Terrafamen Sotkamon kaivoksen tuotantoprosessissa, esitetty kuvassa 1, on neljä päävaihetta: louhinta, murskaus, biokasaliuotus ja metallien talteenotto. Tuotantoprosessin ensimmäisessä vaiheessa malmi louhitaan laajamittaisena avolouhintana Kuusilammen avolouhoksesta. Tämän jälkeen louhittu malmi kuljetetaan kiviautoilla ensimmäisen vaiheen murskaimeen. Malmi murskataan neljässä vaiheessa, jonka jälkeen murske agglomeroidaan prosessiliuoksella, jolloin pienet malmihiukkaset kiinnittyvät karkeampien pinnalle muodostaen tasakokoisia rakeita, joista tehdyt kasat läpäisevät hyvin vettä ja ilmaa.

Agglomeroinnin jälkeen malmi kasataan kahdeksan metriä korkeaksi kasaksi, jossa sitä liuotetaan bakteerien avulla 1,5 vuoden ajan. Kasan alustaan asennetun putkiston läpi puhalletaan alhaisella paineella ilmaa malmikasaan. Kasaa kastellaan liuoksella, jota kierätetään kasan läpi, kunnes liuoksen metallipitoisuus on riittävän suuri metallien talteenottoa varten. 1,5 vuoden primääriliuotuksen jälkeen kasa siirretään sekundäärialustalle, missä liuotusta jatketaan, jotta metallit saadaan talteen myös huonosti liuenneista kasan osista. Sekundäärikasa on myös liuotetun malmin loppusijoituspaikka.

Metallien talteenotossa nikkeli, kupari, sinkki ja koboltti saostetaan liuotuskasalta saatavasta, metalleja sisältävästä liuoksesta, jolloin saadaan tuotetuksi myytäviä metallisulfi-

deja. Metallisulfidit kuljetetaan tämän jälkeen junalla eteenpäin asiakkaille. Kun arvometallit on erotettu, liuoksesta saostetaan vielä arvottomammat metallit, kuten rauta, jonka jälkeen se neutraloidaan, minkä jälkeen liuos palautetaan takaisin kasan kasteluun. [2.]



Kuva 1. TerraFamen tuotantoprosessi [2]

3 Kunnossapito

3.1 Kunnossapidon määritelmä

Nykykäsityksen mukaan kunnossapidon ensisijainen tehtävä on pitää laitteet jatkuvasti käyttökunnossa. Kunnossapidon olennainen osa on toki edelleenkin rikkoutuneiden laitteiden ja komponenttien korjaukset, mutta tämä ei ole kunnossapidon päätarkoitus. Kunnossapito ei myöskään nykykäsityksen mukaan ole pelkkä kuluerä vaan tärkeä tuotannon tekijä, jonka tehokkaalla toteutuksella pystytään varmistamaan tuotantolaitoksen kilpailukyky. [3.]

Kunnossapidon määritelmiä löytyy useista kansainvälisistä ja kansallisista standardeista sekä alan kirjallisuudesta. Kansallinen PSK 6201 -standardi määrittelee kunnossapidon seuraavasti:

Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimien kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana. [4.]

Alan pioneeri John Moubray puolestaan antaa kunnossapidolle määritelmän:

Kunnossapidolla varmistetaan, että laitteet jatkavat sen tekemistä, mitä käyttäjät haluavat niiden tekevän [3].

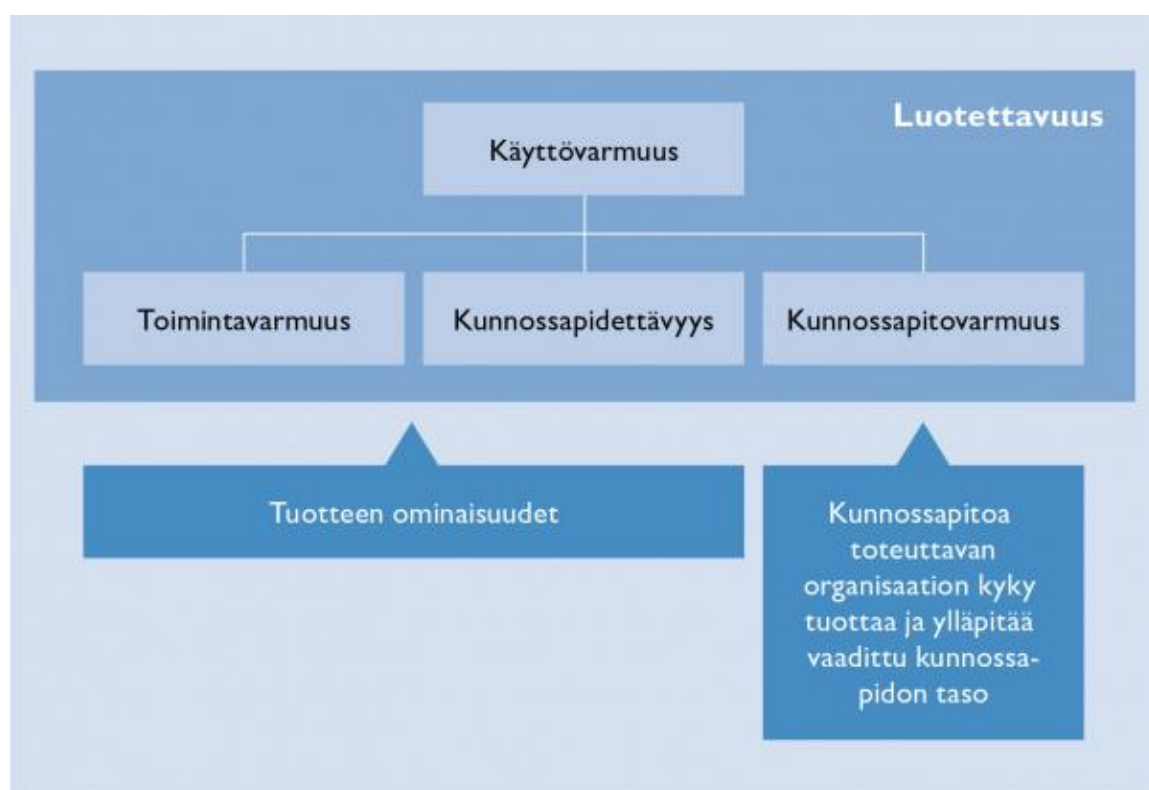
Käytännössä määritelmät eivät ole kaukana toisistaan, mutta Moubrayn määritelmässä korostuu, että jonkun pitää tietää, mitä laitteen halutaan tekevän. Tämä tarkoittaa sitä, että laitoksessa pitää olla selkeä näkemys, millaista suorituskkyä laitteelta halutaan. Tämän pohjalta taas määrytyy se, minkälaisista tasoa ja tuloksia kunnossapidolta odotetaan, jonka pohjalta määritellään laitoksen kunnossapitostrategia ja kunnossapidon toteuttaminen käytännössä. Tästä laajennettuna voidaan myös todeta, että jo laitosta ja sen laitteita hankittaessa olisi oltava selkeä näkemys, mitä niiltä odotetaan, jotta myös kunnossapidolliset asiat voitaisiin ottaa huomioon jo aikaisessa vaiheessa. [3.]

3.2 Käyttövarmuus

Käyttövarmuus määritellään PSK 6201 -standardissa seuraavasti:

Käyttövarmuus on kohteen kyky olla tilassa, jossa se kykenee suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa ja tietyllä ajan hetkellä tai tietyn ajanjakson aikana olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla [4].

Hyvä käyttövarmuus on kunnossapidon keskeinen tavoite, ja se koostuu kolmesta osatekijästä, jotka on esitetty kuvassa 2: toimintavarmuus, kunnossapidettävyys ja kunnossapitovarmuus. [4.]



Kuva 2. Käyttövarmuuden osatekijät [5]

3.2.1 Toimintavarmuus

Toimintavarmuus kuvaa kohteen kykyä suorittaa siltä vaadittu toiminto määrätyissä olosuhteissa vaaditun ajanjakson. Toimintavarmuus voidaan määrittää myös toimintatodennäköisyytenä. Toimintavarmuuden mittarina käytetään vikaväliä eli kahden peräkkäisen vian välistä ajanjaksoa. Toimintavarmuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

- Laitteen konstruktio, johon kuuluvat koneen suunnittelun lähtötiedot, materiaalit sekä niiden mitoitus ja suunnittelun periaatteet.
- Rakenteellinen kunnossapidettävyyys, johon sisältyvät vian luokse päästävyys, vian etsinnän helppous sekä vian korjauksen helppous.
- Asennus eli asennuksen tekninen suorittaminen, laitteen luovutus ja käyttöopastus, kunnossapitosuunnitelmat sekä dokumentaatiot.
- Huolto, johon kuuluvat ennakoiva kunnossapito sekä huollon toteutus.
- Laitteen käyttö, jolla tarkoitetaan laitteen käyttöhenkilökunnan fyysistä kykenemistä sekä koulutusta ja motivaatiota laitteen oikeaan käyttöön.
- Varmennus, johon sisältyy saatavuus sekä valintatapa. [6.]

3.2.2 Kunnossapidettävyyys

Kunnossapidettävyyys on kohteen ominaisuus olla pidettävissä toimintakunnossa tai palautettavissa toimintakuntoon määritellyissä olosuhteissa, jos kunnossapito suoritetaan määritellyissä olosuhteissa vaadittuja menetelmiä ja resursseja käyttäen. Kunnossapidettävyyden mittarina pidetään keskimääräistä korjausaikaa (MTTR, mean time to repair). [6.]

PSK 6201 määrittää kunnossapidettävyyteen vaikuttavat tekijät seuraavasti:

- *Kunnossapidettävyyden todentaminen: Toimenpiteet, joilla sopimuksessa asetetut kunnossapidettävyyksvaatimukset todennetaan vastaanotossa.*
- *Luoksepäästävyys: Kohteeseen suunniteltu ominaisuus, joka kuvaa helppoutta lähestyä ja päästä kohteeseen kunnossapitotehtävien suorittamiseksi.*

- *Vaihdettavuus: Suunniteltu ominaisuus, jonka määrittelee vaihtoyksiköiden käytön laajuus.*
- *Testattavuus: Suunniteltu ominaisuus, joka sallii kohteen tilan, kunnon tai toiminnan valvonnan ja tarkastamisen kohtuullisessa ajassa. Tällaisia ovat esim. näytteenotto ja kunnonvalvonnan mittaukset.*
- *Itsediagnostiikka: Kohteeseen sisäänrakennettu laitteisto tai ohjelmisto, joka automaattisesti, jatkuvasti tai ajoittaisesti testaa ja analysoi kohteen kuntoa.*
- *Huollettavuus: Suunniteltu ominaisuus, joka mittaa huoltotoimenpiteiden suorittamisen helppoutta. Tällaisia ovat esim. pysäytystarve, huoltokohteiden sijainti, rakenteiden tai suojalaitteiden poistotarve, puhtaana pidettävyyden helppous, osavaliikoiman suuruus, osien ja materiaalien yleinen saatavuus, huoltotoimenpiteiden turvallisuus ja niiden ajallinen kesto.*
- *Vian paikannettavuus: Ominaisuus, joka mahdollistaa vian etsimisen ja paikannuksen laitteessa niin, että se voidaan korjata suunnitellusti. [4.]*

3.2.3 Kunnossapitovarmuus

Kunnossapitovarmuus kuvaa kunnossapito-organisaation valmiuksia suorittaa vaadittu toiminto tehokkaasti tietyissä olosuhteissa vaaditulla ajan hetkellä tai ajanjaksona. Olosuhteilla viitataan sekä itse kohteeseen että paikkaan, jossa kohdetta käytetään ja kunnossapidetään. Kunnossapitovarmuuden mittarina käytetään logistista viivettä, joka tarkoittaa aikaa, jolloin tarve hankkia kunnossapitoresursseja viivästyttää kunnossapitotoimenpiteen suoritusta. Kunnossapitovarmuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

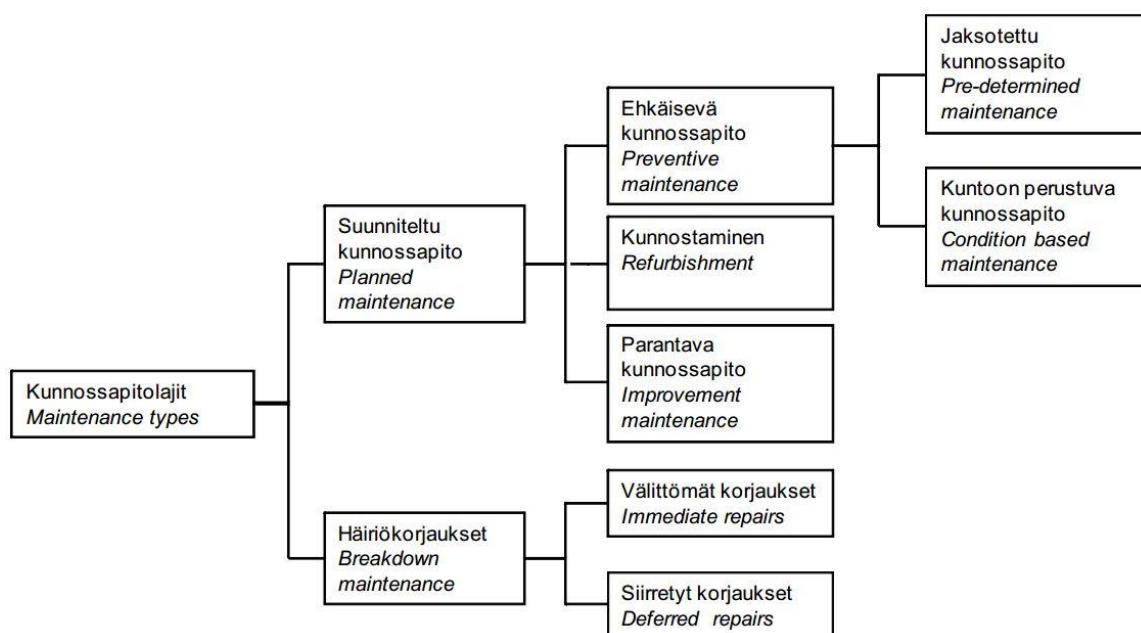
- Hallinto, joka sisältää organisaation avainhenkilöineen sekä toiminnan ohjausjärjestelmät.
- Rutiinit ja systeemit, johon kuuluvat selkeät toimintaohjeet, yhteistyö käytön ja kunnossapidon välillä sekä toimiva yhteistyö toimittajien kanssa.
- Dokumentaatiot, johon sisältyvät ohjeistukset, niiden ylläpito ja laadun varmistus sekä asiallinen vikahistoria.

- Korjausvarusteet eli kunnossapitotoimenpiteen suoritukseen vaadittavat työkalut, erikoistyökalut ja apulaitteet.
- Varaosat ja materiaalit sekä niiden varastointi, saatavuus ja hankinta.
- Kunnossapitäjien ammattitaito, työkyky ja motivaatio sekä näiden ylläpito. [6.]

3.3 Kunnossapitolajit

Kunnossapidon jaottelu eri lajeiksi on tehokkaan johtamisen perusedellytys. Jaottelu helpottaa esimerkiksi kunnossapidon tehokkuuden seurantaa, kun voidaan vertailla erilaisiin työlajeihin käytettyjä resursseja. [7]

Standardissa PSK 7501 määritellään kunnossapitolajien jako sen mukaan ovatko ne suunniteltuja vai suunnittelemattomia, jotka aiheuttavat tuotantohäiriön. Jako on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Kunnossapitolajit [8]

Standardin jako on kuitenkin jäykkä eikä se huomioi kunnossapidon uudistumista. Standardi ei tunne esimerkiksi käsitettä RTF (run to failure), eli vikaan ajaminen. Tämä tarkoittaa ettei kohde ole ehkäisevän kunnossapidon piirissä, vaan sille tehdään vain normaalit huoltotoimenpiteet ja sen käyntiä seurataan. Kun laite rikkoontuu, se korjataan tai vaihdetaan uuteen. Tämä strategia on toimiva kohteelle, joka on arvoltaan vähäinen eikä sen

vikaantuminen häiritse tuotantoa. Tämän kaltaisia kohteita on tuotantolaitoksissa paljon. Lisäksi standardi sivuuttaa erilaiset modernisaatiot eikä edes mainitse kunnossapitoon liittyvää analysointia, esimerkiksi vikahistorian tai vikaantumismekanismien tutkimista. [7.]

Jokapäiväisessä kunnossapitotoiminnassa voidaankin erottaa kunnossapidolle viisi erilaista pääalajia: huolto, ehkäisevä, korjaava ja parantava kunnossapito sekä vikojen ja vikaantumisen selvittäminen. Tämä jako ryhmittää kunnossapitolajit luonteviksi kokonaisuuksiksi, joiden avulla tuotantolaitoksen kunnossapito voidaan hallita seuraavasti:

- Huollon avulla pidetään yllä kohteen käyttöominaisuuksia tai palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntyä tai estetään vaurion syntyminen. Huolto on pääasiallisesti käyttöajan ja -määrän tai käytön rasittavuuden mukaan jaksotettua. Huoltoon kuuluvat mm. voitelut, kalibroinnit, puhdistukset ja kuluvien osien vaihtamiset.
- Ehkäisevään kunnossapitoon kuuluvat jaksotettu kunnostaminen, kunnonvalvonta, kuntoon perustuva kunnossapito sekä ennustava kunnossapito. Näiden tekniikoiden avulla pyritään vikaantumisen estämiseen tai hallintaan. Vikaantumisen estäminen perustuu komponentin vaihtamiseen tai korvaamiseen uudella tietyin väliajoin. Vikaantumisen hallinnassa etsitään vikoja, jotka eivät ole vielä pysäyttäneet konetta, mm. tarkastusten ja kunnonvalvonnan keinoin. Ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteet ovat jaksotettuja, jatkuvasti suoritettavia tai tarvittaessa tehtäviä. Tulosten perusteella voidaan suunnitella ja aikatauluttaa kunnossapidon toteutusta.
- Korjaavan kunnossapidon keinoin vikaantuvaksi havaittu osa tai komponentti palautetaan käyttökuntoon. Korjaavaa kunnossapitoa voi olla joko suunnittelematon häiriökorjaus tai suunniteltu kunnostus. Korjaavaan kunnossapitoon sisältyviä toimia ovat mm. vian määrittäminen, tunnistaminen ja paikallistaminen sekä väliaikainen tai pysyvä korjaus.
- Parantavan kunnossapidon menetelmillä parannetaan koneiden käytettävyyttä ja luotettavuutta sekä muutetaan kunnossapidollisesti epäedullisia kohteita paremmaksi. Parantavan kunnossapidon toiminnot voidaan jakaa kolmeen eri pääryhmään. Ensimmäisessä kohdetta muutetaan käyttämällä uudempiä komponentteja tai osia, mutta kohteen suorituskykyä ei muuteta. Toiseen pääryhmään kuuluvat

erilaiset uudelleensuunnittelut ja korjaukset, joilla parannetaan kohteen luotettavuutta. Kolmannen pääryhmän muodostavat modernisaatiot, joissa kohde tai koko tuotantoprosessi uudistetaan ja sen suorituskykyä muutetaan.

- Vikojen ja vikaantumisen selvittämisellä pyritään löytämään vikaantumisen perussy syy ja vikaantumisprosessi. Saatujen tulosten perusteella voidaan suorittaa toimenpiteitä, joilla estetään vastaavan vikaantumisen uusiutuminen. Näitä voi olla esimerkiksi käyttötavan tai komponentin muutos. Koska analyysit ovat aikaa vieviä ja vaativat erikoisosaamista, ei jokaista vikaantumista kannata analysoida. Tavanomaisia vikaantumisen analysointimenetelmiä ovat mm. vika-analyysit, juuri-syyanalyysit ja materiaalianalyysit. [6.]

4 Kunnossapito Terrafamessa

4.1 Kunnossapidon organisointi

Terrafamessa kunnossapitoa toteuttaa pääasiassa kunnossapito-osasto. Myös tuotantohenkilöstö osallistuu osaltaan laitteiden käynnissäpitoon mm. pesujen ja yksinkertaisten huoltotoimenpiteiden avulla. Kunnossapito-osastoa johtaa kunnossapitojohtaja ja se on jaettu viiden päällikön alaisuuteen pienemmiksi kokonaisuuksiksi: Kunnossapidon ja – järjestelmien kehitykseen, sähköautomaation kunnossapitoon, liikkuvan kaluston kunnossapitoon, sekä malmien käsittelyn, metallien talteenoton, bioliuotuksen ja vesienhallinnan mekaaniseen kunnossapitoon. Nämä kokonaisuudet on jaettu vielä pienemmiksi niin sanotuiksi käynnissäpitoalueiksi, joilla kunnossapitotoimintaa johtavat työnjohtaja ja työnsuunnittelija.

Eri alueiden kunnossapitoa toteutetaan päiväkunnossapidossa ja ympäri vuorokauden pyörivässä vuorokunnossapidossa. Vuorokunnossapidon tehtävänä on suorittaa vikakorjauksia ja pitää näin tuotantoprosessit käynnissä. Päiväkunnossapito hoitaa käytännössä kaiken muun, johon kuuluvat mm. ennakko- ja korjaushuollot, kehittämistyö, isompien huoltojen toteutukset sekä seisokkien suunnittelu ja toteutus.

4.2 Maximo-kunnossapitojärjestelmä

4.2.1 Yleisesti

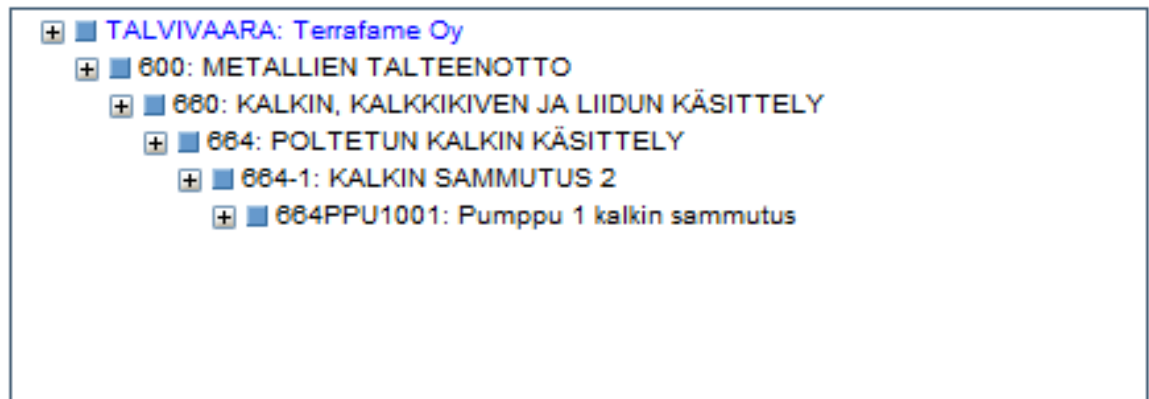
Maximo on International Business Machines Corporationin (lyhennettynä IBM) valmistama kunnossapidon ja service-liiketoiminnan tietojärjestelmä. Se on joustava ja hyvin muokattava järjestelmä ja soveltuu siksi erikokoisiin tarpeisiin suurista ydinvoimaloista pieniin muutaman käyttäjän järjestelmiin saakka. Maximon perusmoduuleita ovat laitehallinta, töiden hallinta sekä materiaalihallinta, johon sisältyvät varasto ja ostotoiminnot. [9.]

Terrafamessa Maximoa käytetään kunnossapidon ja tuotannon töiden sekä ennakko- ja korjaus- ja huoltojen, ostotilausten, varaston ja varaosanimikkeistön hallintaan. Järjestelmää käytetään päivittäin useissa osastoissa, ja sillä on suuri vaikutus osastojen päivittäiseen toimintaan ja tehokkuuteen. [10.]

4.2.2 Käyttöpaikka ja laite

Käyttöpaikka kertoo laitteen paikan ja tehtävän tuotantoprosessissa tai laitoksessa. Käyttöpaikkoja käytetään tunnisteinä, joilla tiedot ja toimenpiteet kohdistetaan tuotantoprosessiin. Käyttöpaikkoja on prosessi-, sähkö-, automaatio- ja kiinteistölaitteille sekä putkistoille. Käyttöpaikat muodostavat hierarkiat, jotka ovat järjestelmän ydin. Prosessihierarkia kuvaa tuotantoprosessia, ja siihen ovat yhteydessä sähkö-, automaatio- sekä putkistohierarkiat. Myös kiinteistöllä on oma hierarkiansa. [10.]

Tässä opinnäytetyössä käytetään pääasiassa prosessihierarkiaa. Kuvassa 4 on esitetty erään kalkin sammutuksen pumpun sijainti Maximon käyttöpaikkahierarkiassa. Hierarkia lähtee koko kaivoksen tasolta laskeutumaan prosessissa alaspäin ja lähestyy kokoajan pumpun sijaintia poltetun kalkin käsittelyn sammutus 2 -prosessissa.



Kuva 4. Maximon käyttöpaikkahierarkia

Käyttöpaikalle on kohdistettu laite tai laitteita. Laitteella ovat tiedot sen tyypistä, valmistajasta, teknisistä tiedoista ja varaosista. Käyttöpaikka pysyy samana, vaikka siinä oleva laite muutettaisiin toisenlaiseen. Kuvassa 5 on esitetty äskeisen pumpun käyttöpaikan alta löytyvä laite, joka tarkoittaa kyseisellä käyttöpaikalla olevan Warman-merkin keskiaakopumppu.

Laite	<input type="text" value="153123"/>	<input type="text" value="Keskiaakopumppu Warman 3/2 C-AH"/>	
Käyttöpaikka	<input type="text" value="664PPU1001"/>	<input type="text" value="Pumppu 1 kalkin sammutus"/>	
Vikaluokka	<input type="text"/>		

Kuva 5. Laitteen esitys Maximossa

5 Kalkkimaidon tuotantoprosessi

5.1 Yleistä kalkkimaidon tuotannosta

Kalkkimaito on hajuton, kermaa muistuttava vaalea suspensio, jota muodostuu, kun sekoitetaan kalsiumoksidia CaO , tuotenimeltään poltettu kalkki, ja vettä. Kalsiumoksidin ja veden reaktiossa kalsiumoksidi sammuu ja syntyy kalsiumhydroksidia Ca(OH)_2 , eli niin sanottua sammutettua kalkkia. Kalsiumoksidin ja veden välinen reaktio muodostaa voimakkaasti lämpöä. Veteen sekoitettu kalsiumhydroksidi muodostaa lietettä, josta käytetään nimitystä kalkkimaito. Synnnyttävä reaktio on esitetty kaavassa 1.



Kalkkimaito on voimakkaan emäksistä ja siksi syövyttävää pH:n vaihdella 12 ja 14 välillä. Litran tilavuutta kohden kalkkimaito sisältää kalsiumhydroksidia 240–290 grammaa.

Terrafamella kalkkimaitoa tuotetaan kahdella toisistaan eroavalla prosessilla. Toisen raaka-aineena on raekooltaan 0–90 mm palamuodossa oleva poltettu kalkki, toisessa 0–15 mm raekoon hienojakoinen poltettu kalkki. Raaka-aine ja toteutettava reaktio ovat siis molemmissa samat, mutta raaka-aineen raekoko aiheuttaa eroja prosessien välillä. [11.]

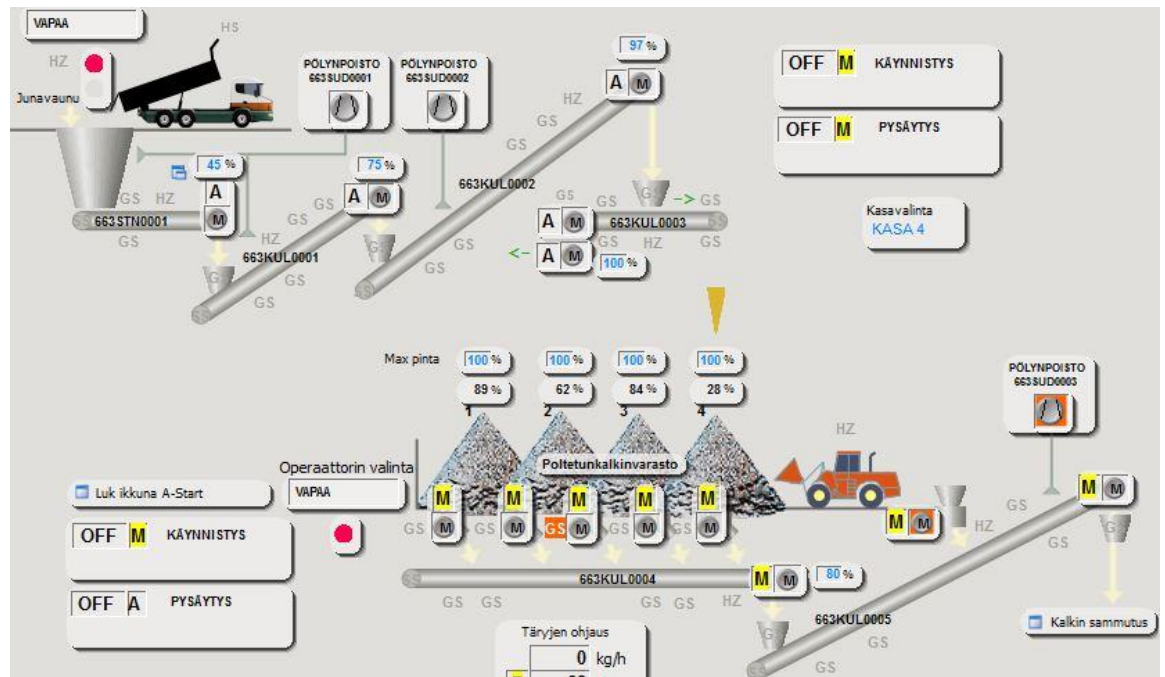
5.2 Kalkkimaidon tuotanto palamuotoisesta kalsiumoksidista

Palamuotoinen kalsiumoksidi saapuu Terrafamelle junavaunuissa, joista se puretaan hihnasyöttimen ja -kuljettimien avulla välivarastoon. Välivarastossa kalsiumoksidi on kassoissa, joista se syötetään tärysyöttimien ja hihnakuljettimien avulla sammutusprosessiin.

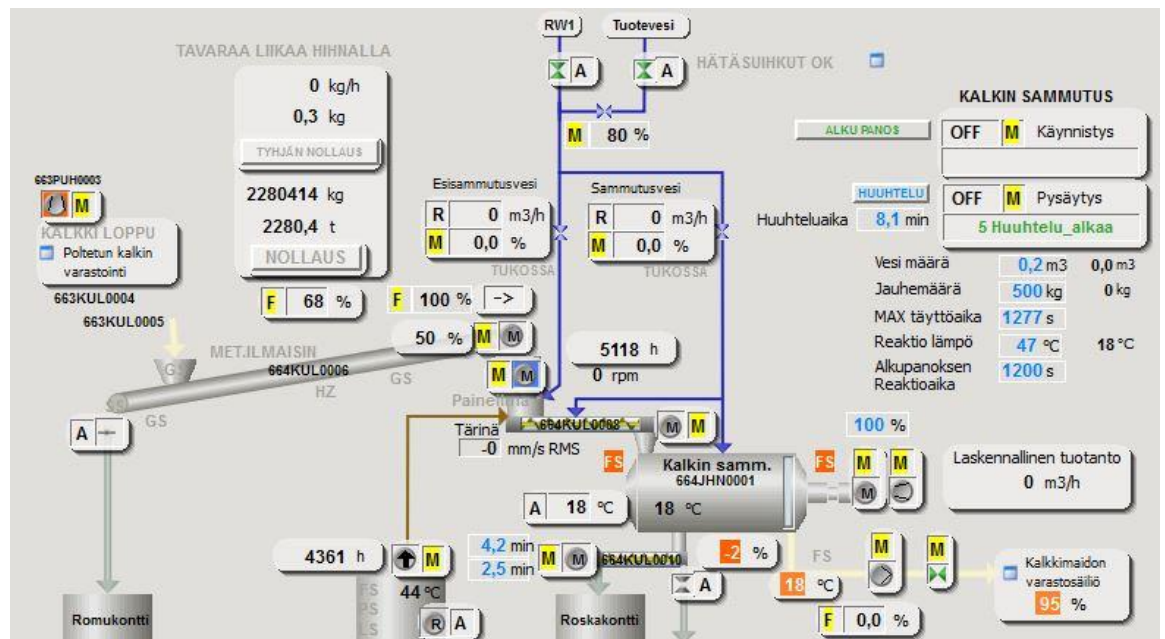
Sammutusprosessin ensimmäinen vaihe on kalsiumoksidin murskaaminen, jossa se pienennetään lähelle 10 mm:n raekokoa. Pienempi raekoko kasvattaa reaktiopinta-alaa ja näin parantaa prosessin tehokkuutta. Murskaimessa kalsiumoksidin sekaan syötetään pieni määrä vettä sammutusprosessin aloittamiseksi ja pölyämisen estämiseksi. Murskaimesta kalsiumoksidi syötetään ruuvikuljettimen avulla varsinaiseen reaktoriin. Reaktorissa kalsiumoksidin sekaan syötetään vettä ja sekoituksen avulla kiihdytetään näiden välistä reaktiota. Reaktorista valmis kalkkimaito syötetään pumpulla kalkkimaidon varastosäiliöön. Reaktio ei ole täydellinen ja siitä jää yli sammumatonta poltettua kalkkia.

Raaka-aineen seassa on myös luonnostaan hiekkaa. Nämä molemmat poistetaan reaktorin pohjasta ruuvikuljettimella ja hävitetään prosessista.

Prosessin tuotantokapasiteetti on 40 m³/h kalkkimaitoa, joka kattaa arviolta 30–50 % kalkimaidon kokonaiskulutuksesta. Yllä kuvattu prosessi on havainnollistettu kuvissa 6 ja 7.



Kuva 6. Palamuotoisen kalsiumoksidin purku ja varastointi



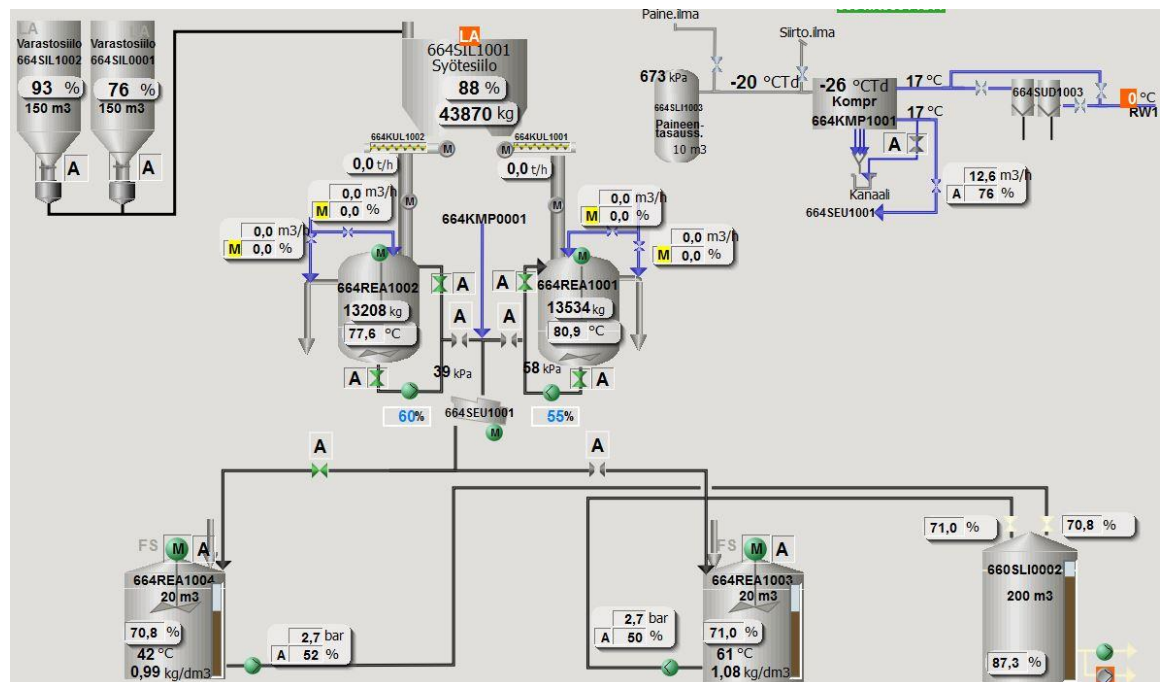
Kuva 7. Palamuotoisen kalsiumoksidin sammutusprosessi

5.3 Kalkkimaidon tuotanto hienojakoisesta kalsiumoksidista

Raekooltaan 0–15 mm:n kalsiumoksidi saapuu Terrafamelle säiliöautoilla, joista se puretaan paineilma-avusteisesti varastosiiiloihin. Varastosiiiloista kalsiumoksidi syötetään paineilmakuljettimella syötesiiloon, josta syötetään varsinaista sammutusprosessia.

Sammutusprosessissa on kaksi identtistä linjaa, jotka toimivat suurilta osin toisistaan erillään. Syötesiiilo, hiekanpoistoon käytettävä täryseula sekä paineilmakuljettimien paineistamiseen käytettävä kompressorit ovat linjoille yhteisiä laitteita. Kalsiumoksidi syötetään sammutusprosessiin ruuvikuljettimella, jonka päässä oleva sulkusyötin annostelee kalsiumoksidin 1. vaiheen reaktoriin. Reaktorissa kalsiumoksidin lisätään vettä ja sammumisreaktio alkaa. Reaktiota kiihdytetään sekoittamalla seosta ja kierrättämällä sitä pumpulla reaktorin pohjasta reaktorin kanteen. 1. vaiheen reaktorin pohjasta seosta syötetään pumpulla täryseulaan ylimääräisen hiekan poistamiseksi järjestelmästä. Täryseulasta seos syötetään jälkireaktoriin, jossa tapahtuu vielä osa sammumisreaktiosta. Jälkireaktorista valmis kalkkimaito syötetään kalkkimaidon varastosäiliöön.

Linjojen yhteinen tuotantokapasiteetti on 95,2 m³/h kalkkimaitoa, ja normaalitilanteessa linjat pystyvät yhteensä kattamaan Terrafamen tuotantoprosessin kalkkimaidon tarpeen. Kuvattu prosessi on esitetty kuvassa 8.

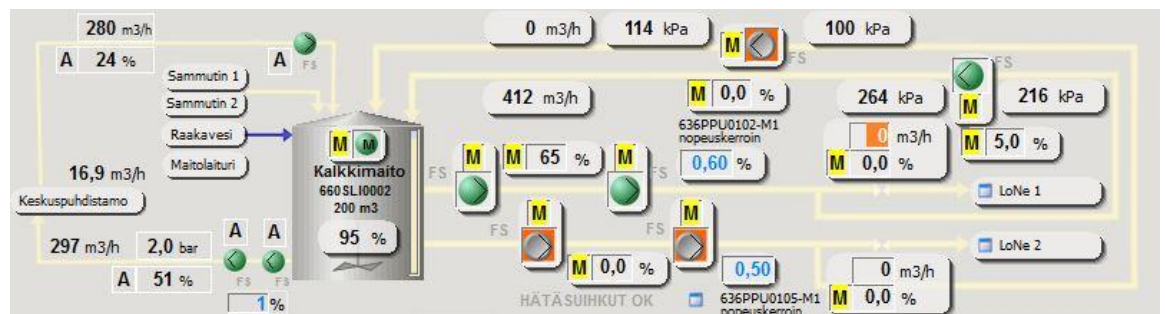


Kuva 8. Kalkkimaidon tuotanto hienosta kalsiumoksidista

5.4 Kalkkimaidon jakelu ja käyttö

Kalkkimaidon varastosäiliöstä kalkkimaitoa syötetään pumpppujen avulla, esitetty kuvassa 9, kahteen sitä tarvitsevaan prosessiin: metallien talteenoton loppuneutralointiin ja keskusvedenpuhdistamolle. Metallien talteenoton loppuneutraloinnissa raudan saostuksessa syntyvän ylitteen pH nostetaan 4,5:sta noin 10,2:een. Näin liuos saadaan tarpeeksi neutraaliksi, jotta se voidaan pumpata vesien käsittelyn prosessiin, jossa se neutraloituu lisää ennen luontoon laskemista.

Keskusvedenpuhdistamolla kalkkimaitoa käytetään loppuneutraloinnin tapaan pH:n nostoon, mutta myös viimeisten metallien saostamiseen prosessiliuoksesta. Keskusvedenpuhdistamolle tulee liuoksia käsittelyyn ympäri kaivoksen prosessia, mutta suurimman kuorman muodostaa raudan saostuksen alite. Alitteen pH nostetaan 4,5:sta noin 10,5:een, jolloin siitä saostuu mangaani. Saostuksessa muodostuva sakka säilötään kipsisakka-altaalle ja käsitelty vesi pumpataan vesien käsittelyn prosessiin.



Kuva 9. Kalkkimaidon varastointi ja syöttö

6 Kriittisyysluokittelu PSK 6800 -standardin mukaisesti

Laitteiden kriittisyysluokituksesta on olemassa kansallinen standardi PSK 6800. Sen mukaan kriittisyys on ominaisuus, joka kuvaa kohteeseen liittyvän riskin suuruutta. Riski voi liittyä henkilöiden loukkaantumiseen, merkittäviin aineellisiin vahinkoihin, tuotannon menetyksiin tai muihin ei-hyväksyttäviin seurauksiin. Riskin suuruus määritellään vikaantumisen vaikutuksen ja sen toteutumisen todennäköisyyden tulona. Kohde on kriittinen, jos siihen liittyvä riski ei ole hyväksyttävällä tasolla.

Kriittisyysluokitusta käytetään kunnossapidon suunnittelun lähtötietojen tuottamiseen. Lisäksi sitä voidaan käyttää hankintavaiheessa tukena, kun mietitään hankittavan laitteen ominaisuuksia, laatutasoa ja vastaanottovaatimuksia.

Laitetason kriittisyyteen vaikuttavat turvallisuus- ja ympäristötekijät, korjaus- ja seurauskustannukset sekä vaikutus tuotantoon. [3.]

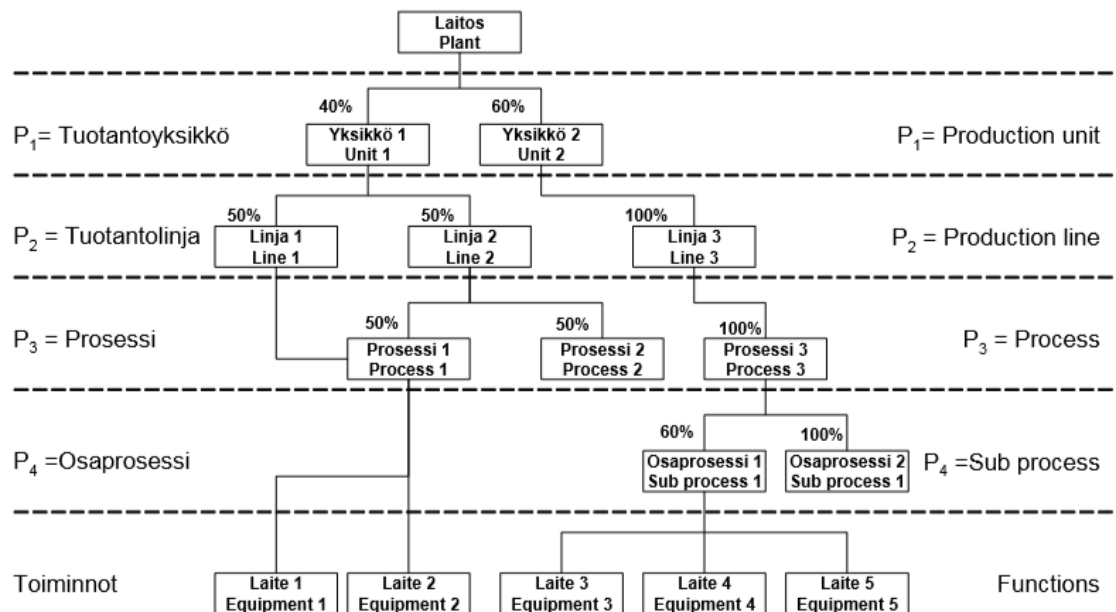
6.1 Tuotannon menetyksen painoarvon määrittäminen

Kriittisyysluokitusta aloitettaessa ensimmäisenä määritellään tarkasteltavan alueen laajuus, eli onko tarkastelussa koko tehdas vai jokin sen osasto tai osaprosessi. Jos tarkastelussa on laaja kokonaisuus, voi olla tarpeen määritellä eri osastoille oma painoarvo tuotannon menetykselle. Sen avulla voidaan ottaa huomioon osastojen väliset erot kriittisyyskertoimia määritettäessä. [3.]

Kuvassa 10 on esitetty laitoksen prosessihierarkian vaikutus painoarvokertoimiin $P_1 \dots P_4$. Painoarvokertoimet kuvaavat laitoksen prosessiteknisten toimintojen keskinäistä riippuvuutta, ja niitä käytetään tuotannon menetyksen painoarvon W_p laskemiseen. Painoarvokertoimet ositetaan prosessihierarkian mukaan siten, että koko laitoksen kannalta kriittinen laite saa painoarvon 100%. [12.]

Tuotannon menetyksen painoarvo W_p lasketaan painoarvokertoimien tulona kaavalla 2:

$$W_p = P_4 \times P_3 \times P_2 \times P_1 \quad (2) \quad [12]$$



Kuva 10. Tuotannon vaikutuskertoimet [12]

- Laitoksen painoarvokerroin on aina 100 %, joten sitä ei tarvitse ottaa huomioon.
- Tuotantoyksikön painoarvokerroin (P_1) on sen suhteellinen osuus koko laitoksen tuotoksesta. Tuotoksena käytetään joko tuotannon määrää, arvoa tai siitä saatavaa tuottoa. Tuotantoyksikköjen painoarvokertoimien summa on aina 100 %. Jos laitos käsittää esimerkiksi kaksi identtistä tuotantoyksikköä, ovat niiden painoarvokertoimet 50 %.
- Tuotantolinjan painoarvokerroin (P_2) on sen suhteellinen osuus koko tuotantoyksikön tuotoksesta. Tuotantolinjojen painoarvokertoimien summa on aina 100 %.
- Prosessin painoarvo (P_3) riippuu sen välttämättömyydestä palvelemilleen kohteille. Mikäli prosessin toimimattomuus pysäyttää tuotantolinjan on sen painoarvokerroin 100 %. Prosessit voivat olla kytkettyinä joko rinnan tai sarjaan. Sarjaan kytkettyjen prosessien painoarvokertoimet ovat keskenään samat. Prosessitasolla käsitellään tuotosta tuotannon määränä.
- Osaprosessin painoarvo (P_4) riippuu sen välttämättömyydestä palvelemilleen kohteille. Mikäli osaprosessin toimimattomuus pysäyttää prosessin tai tuotantolinjan, on sen painoarvokerroin 100 %. Osaprosessit voivat olla kytkettyinä joko rinnan tai sarjaan. Sarjaan kytkettyjen osaprosessien painoarvokertoimet ovat keskenään samat. Myös osaprosessitasolla käsitellään tuotosta tuotannon määränä. [12.]

6.2 Laitteiden kriittisyyden määrittäminen

PSK 6800:ssa käytetään kriittisyyden arviointiin seuraavia tekijöitä:

- vikaantumisväli
- turvallisuusvaikutukset
- ympäristövaikutukset
- tuotannon menetys
- lopputuotteen laatukustannus
- korjauskustannus

Kriittisyysindeksi K lasketaan kaavalla 3. [12.]

$$K = p \times (W_s \times M_s + W_e \times M_e + W_p \times M_p + W_q \times M_q + W_r \times M_r) \quad (3)$$

missä p on vikaantumisväli ja

W_s on turvallisuusriskien painoarvo ja M_s on turvallisuusriskien kerroin

W_e on ympäristöriskien painoarvo ja M_e on ympäristöriskien kerroin

W_p on tuotannon menetyksen painoarvo ja M_p on tuotannon menetyksen kerroin

W_q on laatukustannusten painoarvo ja M_q on laatukustannusten kerroin

W_r on korjauskustannusten painoarvo ja M_r on korjauskustannusten kerroin

Kriittisyysindeksin laskentaan tarvittavat kertoimet ja painoarvot on esitetty taulukossa 1. Taulukossa määritellyt painoarvot ovat esimerkinomaisia. Kriittisyysarviointia aloitettaessa ensimmäisenä tehtävänä onkin arvioida, sopivatko painoarvot sellaisenaan kohteelle vai onko niitä tarpeen muuttaa.

Seuraavaksi listataan kriittisyystarkastelussa tarkasteltavat laitteet taulukkoon ja määritetään niille kertoimet kokemuspohjaisesti. Kertoimien valinnassa on hyvä tehdä yhteistyötä eri ammattiryhmien välillä, jotta kaikkien kokemus ja osaaminen tulevat otettua huomioon ja valitut kertoimet vastaavat mahdollisimman hyvin todellisuutta. Annettujen kertoimien

ja määriteltujen parametrien perusteella taulukkolaskenta antaa laitteille kriittisyysindeksin, jonka arvo kuvaa laitteiden kriittisyyden suhteessa toisiinsa. Varsinainen kriittisyysluokittelu tehdään järjestämällä laitteet kriittisyysindeksin mukaiseen järjestykseen. [3.]

Taulukko 1. Laitetason kriittisyyden tekijät [12]

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri		
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$	1 = Pitkä vikaantumisväli esimerkiksi yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi 2 – 5 vuotta 4 = Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta 8 = Lyhyt vikaantumisväli esimerkiksi 0 – 0,5 vuotta	$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä		
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski		
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski		
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski		
			$M_s = 16$	Vakava turvallisuusriski		
	Ympäristöriskit $W_e = 20$		$M_e = 0$	Ei ympäristöriskiä		
			$M_e = 2$	Vähäinen ympäristöriski		
			$M_e = 4$	Kohtalainen ympäristöriski		
			$M_e = 8$	Merkittävä ympäristöriski		
			$M_e = 16$	Vakava ympäristöriski		
Tuotantovaikutukset	Tuotannon menetykset $W_p = 0 \dots 100$		$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle		
			$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi ≤ 3 h)		
			$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi ≤ 10 h)		
			$M_p = 3$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h)		
			$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi > 24 h)		
			$M_q = 0$	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.		
	Laatukustannus $W_q = 30$		$M_q = 1$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 1 h)		
			$M_q = 2$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 3 h)		
			$M_q = 3$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3-8 h)		
			$M_q = 4$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 8 h)		
			Korjaus- tai seurauskustannukset	$W_r = 20$	$M_r = 0$	Korjauskustannuksilla tai seurauskustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.
				$M_r = 1$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 2 h)	
				$M_r = 2$	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 10 h)	
				$M_r = 3$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10-24 h)	
$M_r = 4$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 24 h)					

6.3 Kriittisyysluokituksen tulokset

Kriittisyyskartoituksen tuloksena saadaan tarkastelun kohteena olevat laitteet järjestettyä näiden kriittisyyden mukaan. Kun kartoituksessa käytettävät parametrit on määritetty oikein ja kun arvioinnissa on mukana tarpeeksi laajaa osaamista, on analyysin tulos yleensä

luotettava. Kun kaikkien tarkasteltavan alueen laitteiden kriittisyysindeksi on saatu arvioitua, määritellään raja-arvo, jota suuremman kriittisyysindeksin saaneet laitteet otetaan tarkempaan tarkasteluun. Raja-arvo määritetään kokemusperäisesti. [3.]

7 Vika- ja vaikutusanalyysi

7.1 Yleistä

Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA) on toimintavarmuuden analysointimenetelmä, joka on tarkoitettu sellaisten vikojen tunnistamiseen, joilla on merkittävä vaikutus järjestelmän suorituskykyyn. Analyysin avulla selvitetään myös, mitä seurauksia ja vaikutuksia vikaantumisella on. Yleensä kaikkien komponenttien viat tai vioittumistavat vaikuttavat järjestelmän suorituskykyyn haitallisesti. Järjestelmän luotettavuuden, turvallisuuden ja käyttövarmuuden tutkimuksessa tarvitaan sekä laadullista että määrällistä analyysiä näiden täydentäessä toisiaan. Määrällisessä analyysissä lasketaan tai ennustetaan järjestelmän suorituskykyä kuvaavia mittareita järjestelmän suorittaessa tiettyä toimintoa tai pitkällä aikavälillä järjestelmän toimiessa tietyissä olosuhteissa. Tyypillisesti tällaisia mittareita ovat mm. toimintavarmuutta, turvallisuutta, käytettävyyttä tai keskimääräistä vikaantumisväliä ilmaisevat mittarit.

Vika- ja vaikutusanalyysi perustuu alimmalle komponentti- tai osajärjestelmätasolle, jolle voidaan määrittää vioittumistavat. Peruselementtien vikaantumisominaisuuksiin ja järjestelmän toiminnalliseen rakenteeseen perustuva VVA määrittää elementtien vikojen ja järjestelmän vikojen, toimintahäiriöiden, käyttörajoitusten ja suorituskyvyn heikkenemisen välisen yhteyden. Tapahtumien ajallinen peräkkäisyys saatetaan myös joutua selvittämään, jotta voidaan arvioida seurannaisvikoja järjestelmä- ja osajärjestelmätasolla. VVA voidaan rajoittaa joko vioittumistapojen laadulliseen analysointiin, jolloin siihen eivät sisälly mm. inhimilliset virheet tai ohjelmistovirheet, tai laajentaa ottaen nämäkin mukaan. [13.]

7.2 Tiedonhankinta

Laitteen valmistajalla tai toimittajalla on yleensä paljon laitteeseen liittyvää tietoa, joka kannattaa aina hyödyntää VVA:ssä. Tämä tieto on erityisen tärkeää, jos laitteesta ei ole käyttökokemuksia. Joissakin tapauksissa laitevalmistajat jopa toimittavat kattavan VVA:n laitetoimituksen yhteydessä. Vaikka laitevalmistajilta on saatavana usein kattavasti tietoa, tulee analyysia täydentää yleensä käyttäjien kokemuksilla, jotta päästään hyvään lopputulokseen. Esimerkiksi laitteiden suunnittelijoiden on usein vaikea myöntää, että suunniteltu laite voi vikaantua suunnittelussa tapahtuneen virheen takia.

Laitteen käyttäjät ja kunnossapitohenkilökunta ovat yleensä parhaita tietolähteitä VVA-analyysia tehtäessä, ja heidän tuleekin olla kiinteästi mukana analyysin teossa. He työskentelevät laitteen kanssa jatkuvasti, tietävät kuinka se toimii, miten se vikaantuu, mitä vikaantumisesta seuraa ja miten vikaantuminen korjataan tai ennaltaehkäistään.

Laitteen käyttötiedoista voi myös saada arvokasta tietoa laitteen vikaantumisesta. Käyttötietojen ongelma on kuitenkin usein siinä, että ne paljastavat vain vioittumistapojen seuraukset ja tehdyt korjaavat toimenpiteet, mutta eivät varsinaista vioittumistapaa. Käyttötiedot eivät myöskään paljasta vikoja, joita ei ole koskaan tapahtunut.

Kerättävän informaation määrä riippuu analyysin suoritustasosta. Mitä korkeammalla tasolla vioittumistavat määritellään, sitä vähemmän informaatiota täytyy kerätä. Jos taas halutaan hakea vian juurisyitä komponenttitasolta, informaation ja erilaisten vioittumistapojen määrä kasvaa huomattavasti. Tällöin saadaan kuitenkin huomattavasti tarkempaa tietoa oikean kunnossapitostrategian valitsemiseksi. Analyysia ei kuitenkaan kannata viedä tarpeettoman syvälle, koska silloin liikutaan alueella, johon ei voida vaikuttaa. Oikea taso analyysille on sellainen, että vioittumistavat voidaan tunnistaa oikean kunnossapitostrategian valitsemiseksi kyseiselle laitteelle. Oikea taso vaihtelee tapauskohtaisesti komponenttitasolta suuriin prosessilinjan osiin. [3.]

7.3 Vikaantumismallit

Vikaantuminen on tapahtuma, joka aiheuttaa vikatilanteen ja vaikuttaa laitteen tai komponentin toimintaan haitallisesti. Mekanismia, joka johtaa vikaantumiseen, sanotaan vikaantumismalliksi. Vikaantumismallin määrittelyssä on oltava käytettävissä riittävästi tietoa, jotta sen perusteella voidaan valita kohteelle oikea kunnossapitostrategia. Vikaantumismallien listauksessa päästään parhaaseen lopputulokseen, kun ensin listataan erilaiset toiminnalliset viat ja vasta sen jälkeen vikaantumismallit, jotka johtavat näihin vikatilanteisiin.

Eri vikaantumismalleille sopivat erilaiset kunnossapitostrategiat. Vikaantumismallien tuntemus onkin kunnossapitotoiminnan perusedellytys. Laitteen kunnossapito suunnitellaan vikaantumismallien tasolla. Vikaantumismallien tunnistus ja analysointi mahdollistavat vikaantumisen ennaltaehkäisyn tai korjauksen suunnittelun ennen vikaantumista. Näin voidaan kohdentaa kunnossapitotoimet oikein ja pyrkiä varsinkin vakaviin seurauksiin johtavien vikojen ennaltaehkäisyyn.

Kuluminen on eräs tärkeimmistä, ja joidenkin näkemysten mukaan ainoa, vikaantumismalleista. Kuitenkin suuren osan vikaantumisesta aiheuttavat käyttö- ja suunnitteluvirheet. Tämän vuoksi VVA:in on otettava huomioon kaikki vikaantumistavat, jotta voidaan suunnitella oikea kunnossapitostrategia. Vikaantumismallit voidaan jakaa kolmeen luokkaan:

- Laitteen suorituskky laskee halutun tason alapuolelle, esimerkiksi kulumisen tai voiteluhäiriön seurauksena.
- Haluttu tavoitetaso nousee laitteen maksimisuoritustason yläpuolelle, esimerkiksi vahingossa tai tarkoituksellisesti tapahtuvan ylikuormituksen seurauksena.
- Laitteen toiminta ei täytä sille asetettuja vaatimuksia, eli se on alimitoitettu vaatimuksiin nähden. [3.]

8 Nykytilanteen kuvaus

Kalkkimaidon tuotanto on tärkeä prosessi metallien talteenotolle ja vesien käsittelylle. Ilman kalkkimaidolla suoritettavaa prosessiliuosten neutralointia ei tuotantoprosessista saataisi poistettua mm. sadevesien myötä prosessiin päätyvää ylimääräistä vettä, koska se on sellaisenaan ympäristöluvan mukaan luontoon kelpaamatonta. Lisäksi osa metalleista saostuu prosessiliuoksesta vasta loppuneutralointivaiheissa. Kaivoksen tuotannon ylös ajon myötä myös kalkkimaidon tarve on kasvanut ja tulee kasvamaan myös tulevaisuudessa. Tästä johtuen myös kalkkimaidon tuotanto- ja jakeluprosessiin osallistuvien laitteiden käyttöaste on kasvussa ja lähentelee parhaimmillaan 100 prosenttia. Tämä aiheuttaa paineita myös kunnossapidolle, sillä laitteita ei ole varaa seisottaa vikatilassa. Tehokkaan ja kattavan ennakoivan kunnossapitostrategian luominen varsinkin prosessille kriittisille laitteille on siksi tärkeää. Toisaalta kunnossapidon resurssit ovat rajalliset, joten niiden kohdentaminen sellaiseen ennakkohuoltoon, jolla on suurin vaikutus prosessin käyttövarmuuteen, on myös ensisijaisen tärkeää.

Osalle prosessin laitteille on kyllä olemassa kattavatkin ennakkohuoltosuunnitelmat, mutta ne on tehty pääosin laitoksen rakentamisvaiheessa laitevalmistajan suositusten perusteella. Ennakkohuoltostrategioita ei ole mietitty laitteen kriittisyyden tai vikaantumisen perusteella. Tämä johtaa siihen, että herkemmin vikaantuville laitteille ennakkohuolto on alimitoitettua ja taas vähemmän vikaantuville ylimitoitettua. Lisäksi työn suorituksen aikana kävi ilmi, ettei osalle, jopa tuotannolle hyvinkin kriittisistä, laitteista ole minkäänlaista ennakkohuolto-ohjelmaa ja nämä pääsääntöisesti korostuivatkin vikaantumistiheyttä tarkasteltaessa.

9 Kriittisyysluokituksen suoritus

Kriittisyysluokittelua lähdettiin suorittamaan PSK 6800 -standardin mukaisesti, standardin tarjoamalle pohjalle, joka on esitetty liitteessä 1. Standardi on luotu monen teollisuuden alan yhteistyössä aina kappaletavaratuotannosta prosessiteollisuuteen. Tästä syystä standardia joutuu aina tapauskohtaisesti soveltamaan käyttötarkoitusta varten. Näin tehtiin tässäkin tapauksessa varsinkin kertoimien määritysten osalta. Standardin henki säilyi kuitenkin mukana koko työn suorituksen aikana. Kaikkien kertoimien määrittämisessä käytettiin perusolettamuksena laitteelle tyypillistä vikaantumista ja laitteen normaalia käyttöä. Ääritapauksien mukaan ottaminen, eli erittäin harvinaisen vikaantumisen tai räikeän käyttövirheen, ei ole tämän kaltaisessa luokittelussa järkevää. Lisäksi standardin lomakkeessa havaittiin selkeä puute tuotannon menetyksen painoarvon määrittämisessä, joka korjattiin käytetylle lomakkeelle.

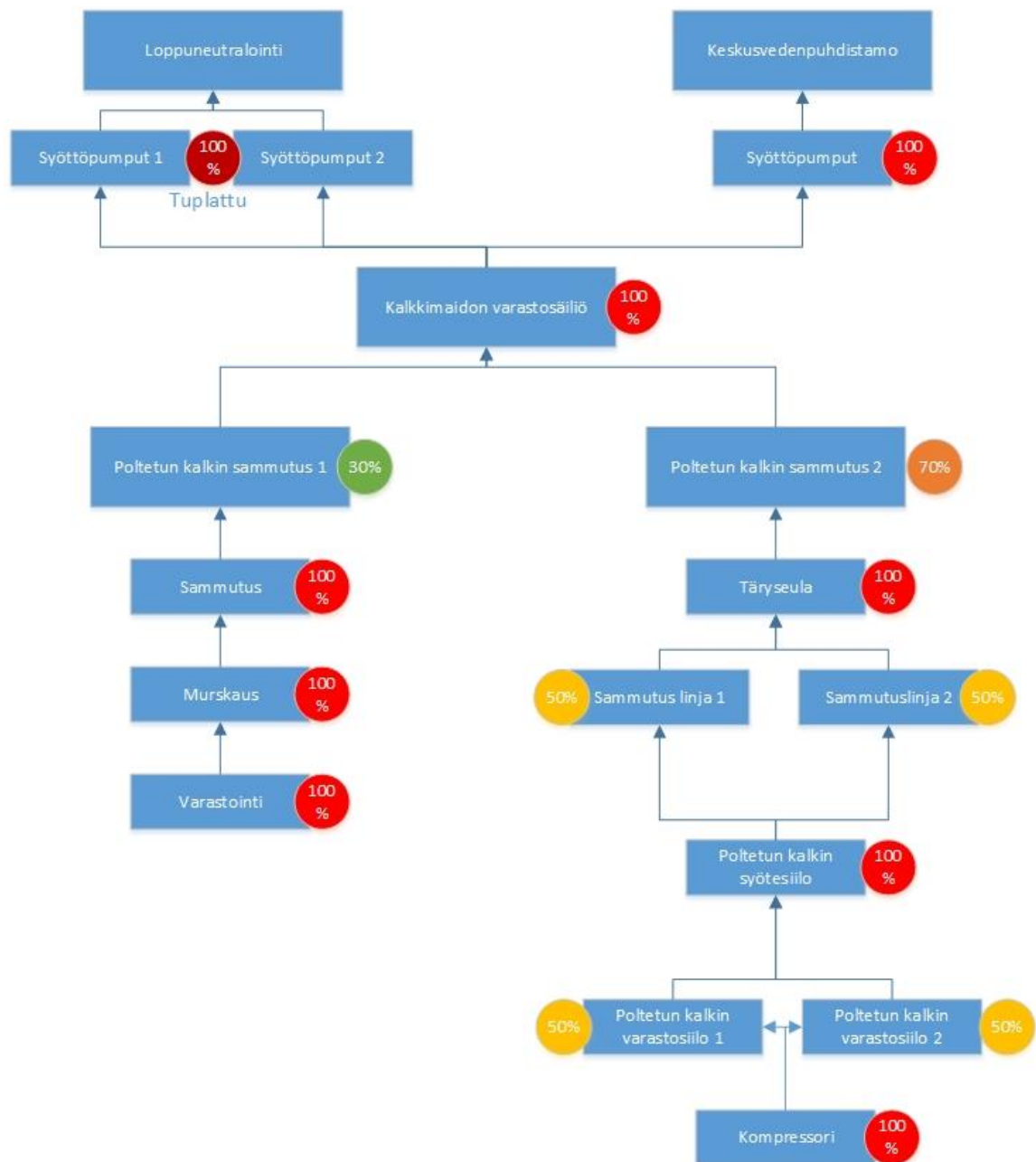
Kriittisyysluokituksessa käsiteltäväksi alueeksi rajattiin kalkkimaidon tuotannon päälaitteet käyttöpaikkatasolla. Kalkkimaidon tuotantoon katsottiin kuuluvan kaikki prosessin laitteet lähtien poltetun kalkin varastoinnista ja loppuen syöttöpumpppuihin, joilla kalkkimaito syötetään sitä tarvitseviin prosesseihin. Kriittisyysluokituksessa eivät ole mukana venttiilit, putkistot tai sähköautomaatiolaitteet kuten erilaiset anturit. Venttiilien osalta poikkeuksena olivat tietyt tuotantoprosessin kannalta erittäin tärkeät ja vikaherkät toimilaitteventtiilit sekä putkistojen osalta siiloihin liittyvät autonpurkuputket.

9.1 Käsiteltävien käyttöpaikkojen kokoaminen

Kriittisyysluokituksessa käsiteltävät käyttöpaikat lähdettiin kokoamaan Maximo-kunnossapitojärjestelmän käyttöpaikka-hierarkiasta. Maximosta käyttöpaikat sai tulostettua helposti käsiteltävään Excel-muotoon, josta alettiin poistamaan rajauksen ulkopuolelle jätettyjä käyttöpaikkoja. Rajauksen sisäpuolisten käyttöpaikkojen olemassaolo varmistettiin PI-kaavioiden, prosessin ohjausjärjestelmän, tuotannon henkilöstön haastattelun sekä ihan fyysisen laitoksen tutkinnan perusteella. Tämän työvaiheen tuloksena listauksesta lähti pois suuri määrä käyttöpaikkoja, joita ei ollut koskaan rakennettu tai ne oli poistettu jo käytöstä. Kalkkimaidon tuotantoa on suoritettu laitoksen historiassa hyvin monin eri tavoin, joten muutoksia on tullut runsaasti. Lopulliseksi käsiteltävien käyttöpaikkojen määräksi muodostui 87, jota pidettiin opinnäytetyöhön sopivan laajana määränä. Käyttöpaikat siirrettiin lopuksi standardin lomakepohjalle.

9.2 Tuotannon menetyksen painoarvon määrittäminen

Tuotannon menetyksen painoarvon (W_p) määrittämistä varten kalkkimaidon tuotannon prosessihierarkia käytiin läpi ja määriteltiin, kuinka erilaiset laitteet ja prosessit vaikuttavat tuotannon kokonaisuuteen painoarvon ja niiden tuotantokapasiteetin kautta. Tuotannon menetyksen painoarvot on esitetty kuvan 11 virtauskaaviossa.



Kuva 11. Tuotannon menetyksen painoarvokaavio

Kaaviota tulee lukea siten, että poltetun kalkin sammutus 1 ja 2 ovat kaksi toisistaan erillistä tuotantoyksikköä, joista toisen tuotantokapasiteetti on 30 % ja toisen 70 % tuotannon

kokonaiskapasiteetista. Näiden alapuolella virtauskaaviossa olevien tuotantolinjojen tai -laitteiden painoarvo on niiden painoarvo kullekin tuotantoyksikölle. Esimerkiksi poltetun kalkin sammutus 2 jakautuu kahteen eri sammutuslinjaan, joiden painoarvo näin koko kalkkimaidon tuotannolle on 35 %. Näillä sammutuslinjoilla on kuitenkin yhteisiä laitteita, joiden painoarvo koko tuotannolle on 70 %. Poltetun kalkin sammutus 1 on suoraviivaisempi prosessi, jonka kaikkien laitteiden painoarvo on suoraan yksikön painoarvo eli 30 %. Kalkkimaidon varastosäiliön kautta kulkee kaikki tuotettu kalkkimaito, joten sen painoarvo koko tuotannolle on suoraan 100 %. Syöttöpumpuilla kalkkimaito syötetään sitä tarvitseviin prosesseihin ja niiden painoarvo on myös 100 %.

Loppuneutraloinnin syöttöpumput 1 ja 2 on rinnakkaisvarmennettu järjestelmä, mikä tarkoittaa, että niistä on käytössä vain toinen kerrallaan. Jos toiset syöttöpumput vikaantuvat, voi toiset syöttöpumput ottaa käyttöön saumattomasti tuotannon häiriintymättä. Rinnakkaisvarmennetut järjestelmät ovat standardille tuntematon käsite, joten painoarvon määrittämisessä joutui soveltamaan. Vaihtoehtona on antaa niille 100 %:n painoarvo, mutta ottaa tämä huomioon vikaantumisvälin määrittämisessä siten, että laitteen vikaantumiseksi lasketaan vain, jos molemmat järjestelmät ovat yhtä aikaa vikaantuneena. Tätä myös käytettiin tässä työssä. Toinen vaihtoehto on laskea tuotannon painoarvo 0 %:iin, mutta pitää vikaantumisväli järjestelmäkohtaisena. Tämä voi aiheuttaa kuitenkin sekaannusta, että miksi tuotantoprosessissa on laitteita, joilla ei ole mitään painoarvoa tuotannolle. Sillä kumpaa tapaa käyttää, ei ole suurta merkitystä laitteen kriittisyydelle. Pääasia on, että rinnakkaisvarmennetut järjestelmät käsittelee yhtenä kokonaisuutena, jotta ne eivät ainaakaan korostu liikaa lopullisessa kriittisyysluokituksessa.

Kun tuotannon painoarvokertoimia lähdettiin siirtämään standardin lomakepohjalle, tuli lomakkeesta esiin yksi iso heikkous. Siihen pystyy määrittämään tuotannon painoarvon vain kerran ja se on tämän jälkeen sama koko lomakkeella. Tämä johtaa siihen, että erilaisen tuotannon painoarvokertoimen omaavat laitteet täytyisi laittaa erillisille lomakkeille. Ongelma päätettiin kuitenkin ratkaista lisäämällä lomakkeeseen lisäkerroin, jolla määriteltiin kunkin laitteen painoarvo välillä 0–1, arvon 1 vastatessa 100 %:n painoarvoa. Tällä kerrottiin sitten tuotannon painoarvokerroin W_p , jonka arvo on 100.

9.3 Vikaantumisvälin määrittäminen

Vikaantumisvälin (p) määrittämisessä tarvittavaa dataa lähdettiin keräämään Maximo-kunnossapitojärjestelmästä. Tarkasteltavaksi ajanjaksoksi muodostui viimeisen kolmen vuoden vikaistoria. Osalla laitteista vikaistoriaa on tätä pidemmältäkin ajalta, mutta laitoksen alkuaikojen kirjauskäytännöt ovat olleet niin sekavia, ettei niiden käsittely olisi ollut järkevää. Standardin määrittämät vikaantumisvälin kertoimet on määritetty pidemmälle ajanjaksolle, joten niitä muokattiin käyttötarkoitukseen sopivammaksi taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Vikaantumisvälin kertoimet

Vikaantumisväli (vuotta)	Kerroin	Määritelmä
Alle 0,5	8	Lyhyt vikaantumisväli
0,5–2	4	Lyhyehkö vikaantumisväli
2–3	2	Pitkähkö vikaantumisväli
Yli 3	1	Pitkä vikaantumisväli

Laitteen vikaantumiseksi laskettiin laitteen toiminnan pysäyttäneet mekaaniset viat. Näin sähköisiä vikoja, esimerkiksi taajuusmuuntajan tai jonkin anturin vikaa, ei laskettu vikaantumisväliin. Vikaantumisdatan keräämisen teki erittäin haasteelliseksi kirjavat käytännöt töiden kirjaamisessa järjestelmään. Töitä jouduttiin käymään yksi kerrallaan läpi ja tutki-
maan, mitä mahdollisesti on tapahtunut ja mitä on tehty, ja voiko työtä laskea vikatyöksi. Osasta kirjatusta töistä ei saanut näihin asioihin mitään selvyyttä, joten näitä ei laskettu mukaan vikaantumisvälin määrittämiseen. Maximossa työt on jaettu karkeasti vika- ja ennakko-
huoltotöiksi, mutta tällä jaolla ei juurikaan ollut arvoa datan keräämisessä, sillä vikatyö oli hyvinkin saatettu kirjata ennakko-
huollossa tai vikatyönä oli kirjattu työ, joka oli suoritettu vuosi sen jälkeen, kun kyseinen vika oli ilmennyt. Jatkossa Terrafamessakin on tarkoitus on siirtyä lähemmäs standardien määritelmiä töiden jaottelun suhteen, mikä oikein käytettynä tulee helpottamaan vikaantumisdatan keräämistä pelkästään välittömistä vikakorjauksista.

Vikaantumisdataa kerätessä huomattiin parin laitteen kohdalla runsaasti vikaantumisia syystä, joka on tiedostettu ja sille on tehty korjaavat toimenpiteet. Tämän kaltaisissa tapauksissa laitteen vikaantumisväli vääristyy ja korostuu turhaan, jos nämäkin vikaantumiset lasketaan mukaan, joten ne jätettiin laskuista pois. Parhaana esimerkkinä toimii täry-

seula, jonka syöttöyhteen paljetta vaihdettiin lähes viikoittain ennen kuin palkeen materiaali vaihdettiin silikonista solumuoviin. Tällä kohteen vikaantumisväli saatiin viikoista kuukausiin.

9.4 Turvallisuuden painoarvokertoimen määrittäminen

Turvallisuusriskin painoarvokertoimen määrittämisessä käytettiin suoraan standardin tarjoamia määrittämiä, jotka on määritetty taulukossa 3. Kertoimen määrittämisessä oli tärkeää ottaa huomioon, että arvioidaan vain sitä turvallisuusriskiä, mikä laitteen vikaantumisesta johtuu. Kertoimessa ei huomioida vian korjaamisesta johtuvia riskejä, sillä työturvallisuusasiat käsitellään luokitusten ulkopuolella.

Taulukko 3. Turvallisuusriskin painoarvokertoimien määrittäminen

Turvallisuusriski	Kerroin	Määrittäminen
Ei	0	Laitteen vikaantuminen ei aiheuta loukkaantumista tai terveysvaaraa.
Vähäinen	2	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa lievän loukkaantumisen tai sairastumisen.
Kohtalainen	4	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa vakavan sairastumisen tai loukkaantumisen, josta jää pysyvä haitta.
Merkittävä	8	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa yhden tai useamman kuolonuhrin.
Vakava	16	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa yhden tai useamman kuolonuhrin ja vakavan vaaratilanteen tehtaan ympäristössä.

Painoarvokertoimeksi muodostui kahta eri arvoa, 0 tai 2, eli laitteen vikaantumisesta johtuvaa turvallisuusriskiä ei ole tai se on vähäinen. Arvon 2 saivat sellaiset laitteet, joiden vikaantuminen johtaa kalkkimaidon vuotamiseen tai poltetun kalkin pölyämiseen. Arvolla 4 pitäisi vikaantumisesta syntyä vakava sairaus tai pysyvä haitta, eikä tämän kaltaisia kohteita voinut perustellusti löytää olettamuksen mukaisessa normaalissa tilanteessa.

9.5 Ympäristöriskin painoarvokertoimen määrittäminen

Ympäristöriskin painoarvokertoimen määrittämisessä käytettiin suoraan standardissa esitettyjä määrittämiä, jotka on esitetty taulukossa 4. Kuten turvallisuusriskin kohdallakin, myös tässä otettiin huomioon vain vikaantumisen suoraan johtuvat ympäristövaikutukset. Ei ole järkevää lähteä kriittisyysluokituksen tasolla arvioimaan esimerkiksi, mitä kerrannaisvaikutuksia jonkin laitteen seisomisella olisi ympäristölle.

Taulukko 4. Ympäristöriskin painoarvokertoimien määrittämiset

Ympäristöriski	Kerroin	Määrittäminen
Ei	0	Laitteen vikaantuminen ei aiheuta ympäristön saastumisen vaaraa.
Vähäinen	2	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa ympäristön likaantumista laitosalueella.
Kohtalainen	4	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa paikallista laitosalueen saastumista.
Merkittävä	8	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa laitosalueen ja lähiympäristön saastumista.
Vakava	16	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa saastumista laitosalueella ja laajalla alueella sen ympäristössä, jonka korjaaminen vaatii suuria taloudellisia panostuksia ja palautuminen voi kestää useita vuosia.

Kalkkilaitos, jonka sisällä käsiteltävän prosessin laitteista suuri osa on, on itsessään iso varoallas ja isotkin vuodot pystytään käsittelemään lattiavesienkäsittelyjärjestelmän ansiosta. Näin ollen kalkkilaitoksen sisällä oleville laitteille tuli ympäristöriskin kertoimeksi 0. Poikkeuksen tekivät laitteet, joiden suuri öljytilavuus aiheuttaa vuodon sattuessa saastumisriskiä, jota ei voida lattiavesienkäsittelyjärjestelmällä käsitellä. Näiden kohteiden kertoimeksi tuli 2. Kerroin 2 tuli lisäksi laitteille, joiden vikaantuminen voi aiheuttaa poltetun kalkin pölyämistä kalkkilaitoksen ulkopuolisella laitosalueella ja aiheuttaa näin alueen likaantumista. Kalkkimaidon varastosäiliö sai ainoana kertoimen 4, sillä suuren vuodon sattuessa kalkkimaitoa voi tulla yli varoaltaan ja näin aiheuttaa paikallista laitosalueen saastumista.

9.6 Tuotannon menetyksen painoarvokertoimen määrittäminen

Tuotannon menetyksen painoarvokertoimen määrittämisessä käytettiin jälleen suoraan standardin määritelmiä, jotka on esitetty taulukossa 5. Määritelmä perustuu vikaantumista aiheutuvaan laitteen toimimattomuusaikaan. Tähän sisältyy varsinaisen vian korjaukseen kuluva aika lisäksi mahdolliseen työkohteen alasajoon, erottamiseen ja käyttöönottoon kuluva aika. Oletuksena käytettiin laitteen tyypillisen vikaantumisen aiheuttamaa toimimattomuusaikaa. Kertoimen määrittämiseen tarvittava data saatiin Maximo-järjestelmästä. Tarkastelujaksona käytettiin laitteiden koko vikahistoriaa.

Taulukko 5. Tuotannon menetyksen painoarvokertoimien määritelmät

Kerroin	Määritelmä
0	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle.
1	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (≤ 3 h).
2	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (≤ 10 h).
3	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (10 – 24 h).
4	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (> 24 h).

Tuotannon menetyksen painoarvon määrittäminen oli erittäin haasteellista Maximon huonoista kirjauskäytännöistä johtuen. Vikatyölle ei välttämättä ollut kirjattu minkäänlaisia korjausajakaa, saati että olisi otettu kantaa mm. erottamiseen kuluvaan aikaan. Lisäksi osalle käytettävistä laitteista ei ollut järjestelmässä vikahistoriaa. Kertoimet piti määrittää vikatoiden aikaleimoja tutkimalla, vertailemalla samankaltaisia laitteita keskenään sekä ihan kokeusperäisesti arvioiden. Suurimmalle osalle laitteista tuli kerroin 1 tai 2, mutta muitakin kertoimia esiintyi laajalla skaalalla.

9.7 Korjauskustannusten painoarvokertoimen määrittäminen

PSK 6800:n mukaan korjauskustannuksen määrittämisessä vikaantumisen aiheuttamaa korjauskustannusta tulisi verrata tuotannon menetyksen arvoon. Kalkkimaidon tuotantoprosessille ei kuitenkaan pysty määrittämään tunti- tai vuorokausikohtaista arvoa, johtuen sen roolista metallien talteenoton ja vesien käsittelyn apuprosessina. Tuotettava hyödyke

tulee näiden prosessien käyttöhyödykkeeksi. Näinpä korjauskustannusten kertoimille määritettiin itse raamit, jotka perustuvat keskimääräisen vikaantumisen aiheuttamaan korjauskustannukseen. Kertoimien määritelmät on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Korjauskustannusten painoarvokertoimien määritelmät

Kesk.määr.kustannus/vika	Keroin	Määritys
100 e tai alle	0	Kustannus merkityksetön
Yli 100 e, mutta alle 1000 e	1	Kustannus vähäinen
Yli 1000 e, mutta alle 5000 e	2	Kustannus keskinkertainen
Yli 5000 e, mutta alle 10000 e	3	Kustannus merkittävä
Yli 10000 e	4	Kustannus erittäin merkittävä

Käytetyillä määrittelyillä eri laitteiden välille saatiin jonkin verran eroja, vaikkakin suurimmalle osalle kertoimeksi tuli 1 tai 2. Standardi käsittelee korjauskustannusten yhteydessä myös vian aiheuttamat seurauskustannukset, joilla tarkoitetaan, että jonkin laitteen vikaantuminen aiheuttaa myös toisen laitteen vikaantumisen. Tämän kaltaisen vikaantumisen tunnistaminen on kuitenkin vaikeaa kriittisyysluokituksen tasolla ja sen käsittely sopii enemmän vika- ja vaikutusanalyysiin. Lisäksi koska seurauskustannusten painoarvo käsiteltävässä prosessissa on niin pieni, että ne päätettiin jättää huomiotta tässä kriittisyysluokituksessa.

9.8 Laatukustannusten määrittäminen

Standardin määritelmien mukaan laatukustannusten painoarvokertoimet määritellään, kuten korjauskustannuksetkin, peilaten tuotannon menetyksen arvoon. Kun tuotannon menetykselle ei voi määrittää arvoa, joutui taas soveltamaan. Lisäksi kun tuotetaan toisen oman prosessin käyttöhyödykettä, mahdollisten laatukustannusten määrittäminen on erittäin vaikeaa. Kalkkimaidon tuotannon laatua voidaan kuitenkin mitata kalkkimaidon laadulla sekä tuotettavan hävikin määrällä. Kalkkimaidon laatua mitataan sen sisältämällä kuiva-ainepitoisuudella ja tuotettavaa hävikkiä sammumattoman kalkin määrällä, joka menee mm. prosessista poistettavan hiekan sekaan. Päätettiin, että laatukustannusten kertoimet määritellään peilaten näihin kahteen laatutekijään välille 0–2. Määritelmät on esitetty taulukossa 7. Jos laitteen vikaantuminen aiheuttaa vaikutuksia laatutekijöihin sen kertoimeksi muodostui 1 tai 2, vakavuudesta riippuen. Standardin määritelmissä kertoimet ovat asteikolla 0–4, mutta laadun merkitys käsiteltävässä prosessissa on sen verran vähäinen, että asteikon muuttaminen oli perusteltua.

Taulukko 7. Laatukustannusten kertoimien määritelmät

Kerroin	Vaikutus laatutekijöihin (kuiva-ainepitoisuus tai hävikki)
0	Olematon tai merkityksetön
1	Vähäinen tai keskinkertainen
2	Merkittävä

10 Kriittisyysluokituksen tulokset

Kertoimien perusteella PSK 6800 -standardin lomake laskee kullekin laitteelle kriittisyysindeksin. Valmis lomake on esitetty liitteessä 2. Lomakkeessa esitetään laskennan tuloksena kriittisyysindeksin lisäksi kriittisyyden osa-indeksit turvallisuudelle, ympäristölle, tuotantovaikutukselle sekä laadulle. Osaindeksejä ei varsinaisesti käsitellä, mutta ne antavat suuntaa, mistä kunkin laitteen kriittisyysindeksi muodostuu.

Kun laitteet järjestää kriittisyysindeksien mukaisesti, saadaan aikaiseksi varsinainen kriittisyysluokittelu. Kriittisyysindeksit jakautuivat laajalla skaalalla välillä 0–1440, niiden jakauma on esitetty liitteessä 3. Jakaumasta on erotettavissa selkeä piikki, jota kriittisyysluokittelussa myös haettiin. Saadaan karkealla käsittelyllä esille ne laitteet, joiden tarkemmalla tutkinnalla saadaan suurin vaikutus prosessin käyttövarmuuteen.

Standardi ei suoraan määrittele, millä kriittisyysindeksillä laite on kriittinen. Tämän arvon määrittäminen on tapauskohtaista, sillä indeksien jakauma eri prosesseihin kohdistuvissa kriittisyysluokitteluissa voi vaihdella suurestikin. Yleensä hyvänä ohjesääntönä on pidetty, että kriittiseksi määritellään 10–20 prosenttia luokittelussa käsiteltävistä laitteista.

Kriittisyysluokitus käytiin tarkasti läpi ja päädyttiin lopulta, että kriittiseksi määritellään laitteet joiden kriittisyysindeksin arvo ylittää 750. Näitä laitteita löytyi luokittelussa 14 ja ne edustavat noin 16 prosenttia käsitellyistä käyttöpaikoista. Määrää pidettiin riittävänä ja kriittisyysluokitusta asianmukaisesti tehtynä. Nämä laitteet muodostivat sen joukon, jota käsitellään tarkemmin vika- ja vaikutusanalyysissä.

11 Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA) kriittisille laitteille

Kriittisyysluokituksen perusteella kriittisiksi määritellyille laitteille lähdettiin tekemään vika- ja vaikutusanalyysiä aiemmin yrityksessä käytössä olleelle pohjalle. Pohja on esitelty liitteessä 4. Pohjaa verrattiin ennen aloitusta kansainväliseen SFS-EN 60812 -standardiin ja varmistettiin, että se on asianmukainen. Standardi ei suoraan tarjoa pohjaa, jolla VVA tulee suorittaa, vaan antaa suuntaviivoja ja neuvoja, kuinka siinä kannattaa edetä. Käytännön toteutus tulee soveltaa aina tapauskohtaisesti. Käytettävä pohja oli hyvin standardin hengen mukainen ja todettiin näin soveltuvaksi työn suoritukseen.

11.1 Vika- ja vaikutusanalyysin suoritus

VVA:in suoritus aloitettiin jakamalla käsiteltävä laite rakenneosiin. Esimerkiksi keskipakopumppu jakaantui kuuteen eri rakenneosaan, kuten voimansiirto tai laakerointi. Tämän jälkeen kullekin rakenneosalla listattiin potentiaaliset vikaantumismuodot, eli kuinka ne voivat vikaantua, sekä vikaantumisen seuraukset rakenneosalle ja laitteelle. Seurauksien perusteella määriteltiin vikaantumisen vakavuus (S, severity), joka sai numeerisen arvon välillä 1–5. Arvojen määritelmät on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Vakavuuden määritelmät

Kerroin	Vikaantumisen seurausten vakavuuden selite
1	Pieni, käyttäjät eivät välttämättä havaitse vikaantumista.
2	Pienehkö, aiheuttaa hieman prosessiongelmia esim. alentuneena tuottona.
3	Keskisuuri, aiheuttaa prosessin epäkäytettävyyttä tai laadullista ongelmaa.
4	Suuri, aiheuttaa suorituskyvyn romahtamisen ja tuotannon väliaikaisen katkeamisen.
5	Erittäin suuri, aiheuttaa välittömän tuotannon alasajon tai henkilöriskin.

Jokaiselle potentiaaliselle vikaantumismuodolle etsittiin tämän jälkeen sen synnyttävä vikaantumismekanismi kokemuspäisästi. Vikaantumismekanismeja voivat olla esimerkiksi kuluminen tai asennusvirhe. Kullekin vikaantumismekanismille määriteltiin esiintymisen (O, occurrence), sille Maximosta löydettävän vikaantumisvälin perusteella. Esiintymisen sai numeerisen arvon välillä 1–5, joiden määritelmät on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Esiintymisen määritelmät

Kerroin	Vikaantumismekanismin esiintymisen selite
1	Harvinainen, vika toistuu harvemmin kuin 5 vuoden välein.
2	Vika toistuu 2–5 vuoden välein.
3	Vika toistuu 1–2 vuoden välein.
4	Vika toistuu 3–12 kk välein.
5	Vika toistuu useammin kuin 3 kk välein.

Seuraavana vaiheena oli kunkin vikaantumismekanismin ennaltaehkäisykeinojen ja havaittavuuden määrittäminen. Ennaltaehkäisy tarkoittaa niitä keinoja, joilla vikaantumismekanismin kehittymisen viaksi voi estää. Tämä voi olla esimerkiksi rakenneosan tai komponentin vaihto tai tarkastus määräajoin, ja sen määrittelee osiltaan vian havaittavuus. Havaittavuudella tarkoitetaan, että kuinka nopeasti jonkin vikaantumismekanismin kehittymisen voi havaita ennen kuin se johtaa vikaantumiseen. Nopeasti voisi ajatella, että esimerkiksi jokin vuoto on helppo havainnoida aistihavainnoin, mutta tällöin vikaantuminen on jo tapahtunut. Todellisuudessa vuodon aiheuttajan havaitseminen etukäteen voi olla erittäin vaikeaa. Kunkin vikaantumismekanismin havaittavuus (D, detectability) sai numeerisen arvon välillä 1–5 ja niiden määritelmät on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Havaittavuuden määritelmät

Kerroin	Vikaantumismekanismin havaittavuuden selite
1	Vian kehittyminen on helppo havaita aistihavainnoin.
2	Vian kehittymisen pystyy havaitsemaan kiinteän kunnonvalvonnan apuvälinein (esim. värinämittaus).
3	Vian kehittymisen pystyy havaitsemaan kunnonvalvonnan apuvälinein (esim. lämpökamera).
4	Vian kehittymisen havaitseminen hankalaa, vian voi havaita ainoastaan laitteen pysäyttämällä.
5	Vian kehittymistä ei voi havaita, laitteen suojarakenne estää havaitsemisen tai vika kehittyy niin nopeasti.

Vakavuuden, esiintymisen ja havaittavuuden tulona saadaan niin sanottu RPN-luku (Risk Priority Number), joka kuvaa vikaantumisen kriittisyyttä numeroarvona. Erilaisten vikaantumisten RPN-luvut ovat jossain määrin keskenään vertailukelpoisia, ja niitä voi käyttää suuntana määritettäessä jatkotoimenpiteitä vikaantumisen estämiseksi. Suuri RPN-luku voi esimerkiksi johtaa välittömiin toimenpiteisiin ja pienen RPN-luvun vikaantuminen voidaan jättää huomiotta.

VVA:n viimeisenä vaiheena oli määrittää suositellut toimenpiteet kullekin vikaantumiselle. Toimenpiteitä voivat olla esimerkiksi nykyisen ennakkohuollon jatkaminen, tarkastus- tai vaihtovälin tihentäminen tai rakenneosan rakenteen muuttaminen. Toimenpiteelle määritellään myös suorittaja, joka tässä tapauksessa oli vain karkeasti kunnossapito- tai tuotantohenkilöstö. Suositellun toimenpiteen perusteella vikaantumiselle määritettiin myös uudestaan vakavuus-, esiintyminen- ja havaittavuuskertoimet sekä RPN-luku, joita voidaan odottaa toimenpiteiden seurauksena vikaantumiselta. Nämä luvut ovat toki vain ennustuksia eikä todellisia vaikutuksia voi kohteesta riippuen määrittää kovin tarkasti. Se antaa kuitenkin suuntaa toimenpiteen mahdollisista vaikutuksista ja siitä, onko toimenpidesuositus toteuttamiskelpoinen.

11.2 Vika- ja vaikutusanalyysin tulokset

VVA:n avulla kriittisyysluokituksessa kriittisiksi määritellyistä laitteista saatiin tarkemmin esiin, mistä niiden vikaantuminen muodostuu. Minkälaisia vikaantumismuotoja kustakin laitteesta löytyy ja mikä vikaantumismekanismi tähän johtaa. Analyysin perusteella päästiin kiinni siihen, miten vikaantumista voitaisiin ehkäistä ja saatiin toimenpidesuosituksia tämän edesauttamiseksi. Yhden laitteen valmis VVA on osittain esitetty liitteessä 5.

Osille rakenneosien vikaantumisista pystyi hyvin määrittämään vikaantumisvälin perusteella tarkastus- tai vaihtovälin, jolla vikaantuminen pystytään, jos ei kokonaan ehkäisemään, niin kasvattamaan vikaantumisväliä reilusti. Lisäksi suosituksia tuli asennusohjeiden laadinnasta, joilla pystytään välttämään erilaiset asennusvirheet, prosessin erilaisesta ajotavasta sekä ennakkohuollon (esimerkiksi rasvaukset) pitämisestä nykytasolla. Joillekin laitteille tuli suosituksena rakenneosan tai koko laitteen muuttaminen toislaiseksi, koska nykyistä vikaantumista ei pystytä millään järkevällä ennakkohuollolla ehkäisemään. Toimenpidesuositusten toteutuksella ennakkohuollon määrä tulee kasvamaan, mutta samalla saadaan vähennettyä prosessista reilusti yllättäviä vikaantumisia. Näin päästään parempaan käyttövarmuuteen, joka oli koko työn tavoite.

12 Tulosten tarkastelu

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kalkkimaidon tuotantoprosessista PSK 6800 -standardin mukainen kriittisyysluokittelu sekä siinä kriittisiksi nousseille laitteille vika- ja vaikutusanalyysi. Valmis kriittisyysluokitus käytiin läpi erillisessä arviointipalaverissa, jossa paitsi määriteltiin, mitkä laitteet muodostavat kriittisten laitteiden joukon, myös se onko kriittisyysluokitus suoritettu asianmukaisesti. Palaveriin osallistuivat Terrafamen sisällä tässä opinnäytetyössä avustaneet henkilöt. Lisäksi kriittisyysluokituksen tekemisessä oli kiinteästi mukana auttamassa Ramentor Oy:n Turkka Lehtinen, joka on mukana PSK-standardisoinnin käyttövarmuuden hallintaa käsittelevässä työryhmässä. Hänen ja arviointipalaverissa mukana olleiden henkilöiden arvion mukaan kriittisyysluokitus oli asianmukaisesti suoritettu ja sen tulos oli käyttökelpoinen. Lisäksi tehty kriittisyysluokituspohja oli tarpeeksi hyvä, että sitä tullaan käyttämään yrityksen sisällä jatkossa, kun vastaava prosessi viehdään läpi muissa kaivoksen osaprosesseissa. Pohja tulee toki mukauttaa aina käsiteltävään prosessiin ja pieniä muutoksia joutuu tekemään mm. käytettäviin painoarvokertoimiin, aivan kuten tässäkin työssä jouduttiin tekemään.

Samaan tapaan omassa arviointipalaverissaan arvioitiin myös valmis vika- ja vaikutusanalyysi. Sen suorituksen todettiin olevan asianmukainen ja siinä esiin nousseiden toimenpidesuosittelujen olevan toteuttamiskelpoisia. Käytetyn pohjan runkoa tullaan myös käyttämään yrityksessä jatkossa, mutta sitä muokataan siten, että kerroinskaalaa laajennetaan tässä työssä käytetystä 1–5:stä 1–10:een. Tällöin erilaisten vikaantumisten välille saadaan suurempia eroja ja tarkemmin määriteltyä kunkin vikaantumismallin esiintymisen, havaittavuuden ja vakavuuden. Työssä käytetty kerroinskaala ei siis ollut aivan optimaalinen, mutta sillä saatiin kuitenkin käyttökelpoisia tuloksia.

Maximon tarjoama puutteellinen vikaantumisdata aiheutti haasteita työn suorituksessa sekä kriittisyysluokituksen että VVA:n osalta. Tämä johtaa myös siihen, etteivät saadut tulokset ole niin luotettavia kuin ne voisivat olla. Sen lisäksi, että data oli osin käyttökeltontonta, oli datan kerääminen erittäin työlästä. Datan keräämiseksi jouduttiin käymään käsin läpi kaikki mukana olevia laitteita koskevat työt yksitellen. Oman haasteen aiheutti myös se, ettei töitä ollut aina kirjattu oikealle käyttöpaikalle vaan esimerkiksi ylemmälle tasolle hierarkiassa tai jollekin muulle lähellä olevalle käyttöpaikalle. Tämä oli tiedossa jo ennen työn suoritusta, joten tieto osattiin hakea tästäkin huolimatta. Se teetti vain lisätyötä. Yrityksessä tullaan lähiaikoina päivittämään Maximo uuteen versioon, ja nämä ongelmat pyritään samalla myös korjaamaan. Uudessa Maximossa tulee käyttöön huomattavasti nykyistä tarkemmat työluokat, jolloin pelkkien välittömien vikakorjausten etsimisestä tulee

helpompaa. Lisäksi käyttöön tulevat uudet kirjauskäytännöt vikalukokoneen, joilla vian korjaamisen mennyt aika ja itse vika tulee selkeästi esille. Datan käsittelyä pystyy tämän myötä tekemään jatkossa ns. massa-ajona, jolloin tämän työn suorituksessa vaadittua käsityötä ei enää tarvitse tehdä. Nämä toteutuvat parannukset ovat osittain sen ansiota, että ongelmat nousivat esille tätä työtä suorittaessa.

Kriittisyysluokitusta ja VVA:a suorittaessa tulisi kerätä kokemuksia laitteiden vikaantumista laajalta kirjolta niin tuotannon kuin kunnossapidon henkilöstöstä. Valitettavasti käsiteltävän alueen henkilöstössä on tapahtunut viime vuosina paljon muutoksia, josta johtuen esimerkiksi asentajatasolta ei ollut käytettävissä henkilöä, jolla olisi laajaa tietämystä alueen laitteista. Tämä väistämättä heikensi työstä saatavaa tulosta, kun katsontakanta on kapeampi eikä ruohonjuuritason tietämystä saa hyödynnettyä.

Ensimmäisenä jatkotoimenpiteenä opinnäytetyön tuloksena on suorittaa VVA:ssä esille tulleet toimenpidesuosituksat. Tämän jälkeen tulee käydä läpi vielä yleisellä tasolla ne kriittisyysluokituksen laitteet, joita ei käsitelty vika- ja vaikutusanalyyssissä. On tarkasteltava, ovatko esimerkiksi laitteiden ennakkohuollot järkevällä tasolla peilaten niiden kriittisyysindeksiin. Ei-kriittisiin laitteisiin ei ole järkevää tuhata liikaa kunnossapidon resursseja. Kalkkimaidon tuotantoprosessille tässä työssä tehtyä kriittisyysluokitusta ja VVA:a ei ole tarkoitus jättää kertaluontaiseksi, vaan sitä tulee päivittää parin vuoden kuluttua, jolloin on kertynyt tarpeeksi vikaantumisdataa siitä, kuinka toimenpidesuosituksat ovat laitteiden vikaantumiseen vaikuttaneet. Tuolloin kriittiseksi muodostuvien laitteiden joukko voi olla hyvinkin erilainen. Prosessi on myös huomattavasti helpompi viedä läpi, kun pohjatyö on tässä työssä tehty ja Maximosta on oletettavasti saatavissa helposti käsiteltävää vikaantumisdataa.

Työn tärkeintä tavoitetta eli kalkkimaidon tuotantoprosessin käyttövarmuuden parane- mista voi arvioida vasta vuosien kuluttua. Käyttövarmuus ei ole asia, jota voi muuttaa yhdessä yössä ja nähdä tulokset heti. Mutta oletettavaa on, että kun työn tuloksena tulleet toimenpidesuosituksat viedään läpi, tulee prosessin käyttövarmuus kasvamaan, kun yllättäviä vikaantumisia saadaan vähennettyä varsinkin prosessille kriittisiltä laitteilta.

13 Yhteenveto

Tämä opinnäytetyö tehtiin Terrafame Oy:n kunnossapidon toimeksiannosta. Kunnossapidossa oli virinnyt ajatus siitä, että koko kaivoksen prosessissa tulisi viedä läpi kriittisyysluokittelu ja kriittisten laitteiden vika- ja vaikutusanalyysi. Tämä on suoraa seurausta siitä, että yksi yrityksen kärkihankkeista on kaivoksen tuotantoprosessin käyttövarmuuden parantaminen. Vastaavaa prosessia oli tehty joidenkin pienien osaprosessien osalta aiemminkin hyvin suppeasti lähinnä kriittisyysluokituksen tasolla. Käsiteltäväksi prosessiksi valikoitui kalkkimaidon tuotantoprosessi, johtuen siitä, että alue oli tuttu opinnäytetyön tekijälle. Samalla oli tarkoitus luoda pohjaa Terrafamen sisäiselle standardille siitä, kuinka kriittisyysluokitus ja vika- ja vaikutusanalyysi tulisi suorittaa.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin tavoitteiden mukaisesti kalkkimaidon tuotantoprosessista kriittisyysluokituksen avulla esille kriittiset laitteet ja näille tehtyä vika- ja vaikutusanalyysi. VVA:n avulla saatiin toimenpidesuosituksia, joiden avulla näiden laitteiden käyttövarmuutta voidaan parantaa mm. muutoksilla ennakkohuoltoihin tai laitteen rakenteeseen. Kun toimenpidesuosituksia viedään läpi, saadaan koko prosessin käyttövarmuus paremmalle tasolle. Myös kunnossapidon resursseja saadaan kohdennettua sinne, missä niitä oikeasti tarvitaan. Ennakkohuollon määrä tulee hieman kasvamaan, mutta samalla työ määrä yllättävien vikaantumisien kimpussa tulee laskemaan reilusti. Lisäksi saatiin luotua pohjaa sille, kuinka vastaava prosessi tullaan viemään läpi kaivoksen muissa osaprosesseissa.

Opinnäytetyön aihe oli haastava ja suorituksen aikana tuli vastaan paljon ongelmia, liittyen lähinnä standardien soveltamiseen ja Maximon käyttöön vikaantumisdatan lähteenä. Maximon kirjavat käytännöt töiden kirjauksessa sekä datan kerääminen käsityönä teki sen käytöstä melko haasteellista. Tämä kuitenkin tulee korjaantumaan Maximon päivityksen mukana tulevien muutosten myötä. Kaikista ongelmista kuitenkin selvisi, kun yrityksen sisältä ja sen ulkopuoleltakin sai apua ja neuvoja aina kun niitä tarvitsi. Prosessi saatiin vietyä kunnialla läpi, ja siitä saatiin hyviä ja luotettavia tuloksia. Oli palkitsevaa huomata mm. joidenkin laitteiden kohdalla, että aiemmin haastavaksi ajatellulla vikaantumisella on stabiili vikaantumisväli ja se saadaan kuriin yksinkertaisilla ennakkohuollon toimenpiteillä. Työn suorituksen aikana huomasikin myös, että standardit eivät ole täydellisiä, vaan niihin tulee tapauskohtaisesti tehdä lisäyksiä ja sovelluksia, jotta ne soveltuvat käyttötarkoitukseen.

Lähteet

- (1) Kotisivut. Terrafame Oy. Terrafame Oy yritysesittely. <https://www.terrafame.fi/terrafame-oy.html>. Haettu 26.10.2017.
- (2) Terrafame Oy. Terrafamen tuotantoprosessi. Terrafamen koulutuskäyttöön tarkoitettu materiaali. 2017.
- (3) Mikkonen, H. Kuntoon perustuva kunnossapito. KP-Media Oy; 1. painos 2009.
- (4) PSK Standardisointiyhdistys ry. Standardi PSK 6201. Kunnossapito. käsitteet ja määritelmät. 3. painos 2011.
- (5) Artikkel. Promaint; 11.12.2013. Laitekannan hallinta näkökulmia fleetin hallintaan ja arvontuottoon asiakkaalle. <http://promaintlehti.fi/Tutkimus-ja-koulutus/Laitekannan-hallinta-nakokulmia-fleetin-hallintaan-ja-arvontuottoon-asiakkaalle>. Haettu 11.8.2017.
- (6) Järviö J., Piispa T., Parantainen T., Åhström T. Kunnossapito. KP-media Oy; 4. painos 2007.
- (7) Järviö J., Lehtiö T. Kunnossapito – tuotanto-omaisuuden hallinta. KP-Media Oy; 5. painos 2012.
- (8) PSK Standardisointiyhdistys ry. Standardi PSK 7501. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. 2. painos 2010.
- (9) Esite. MaxiPoint Oy. Maximo Easyflex. maxipoint.fi/images/Maximo_EasyFlex.pdf. Haettu 6.11.2017.
- (10) Maximo-koulutus. Terrafamen sisäinen koulutusmateriaali. Terrafame Oy. 5/2017
- (11) Talvivaara kalkkikoulutus. Heidi Kauppila, Heta Urpala ja Jyrki Lahenius. Sisäinen koulutusmateriaali. 2014.
- (12) PSK Standardisointiyhdistys ry. Standardi PSK 6800. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. 2008.
- (13) Metropolia. Wiki SFS 5438. <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=108375219>. Haettu 21.8.2017.

Terrafame Oy
Kalkkilaatos, Poltetun kalkin varastointi, käsitely ja syöte
Miko Mäkitalo
V.1
11.8.2017

Kriittisyyden raja-arvo
Tuotannon menetyksen painoarvokerroin W/P

750
100

Toimintopaikan tunnistus	Toimintopaikan nimitys	Vikaantumisväli (1_8)	Turvallisuu s (0_16)	Ympäris tö 0_16	Lisäkerroin: Tuotannon menetyksen painoarvo (0_1)	Tuotannon menetyk s (0_4)	Loppu- tuotteen laatuks- tannus (0_4)	Korjaus- kustannus (0_4)	K	Kriittisyyden osaindeksit					
		Painoarv ot W-->	30	20		100	30	20		Ks	Ke	Kp	Kq	Kr	
636PPUJ0101	Loppuneutralointi syötöpumppu 1 660SLJ0002:lä reaktoreille	1	2	0	1	2	0	1	280	60	0	200	0	20	
636PPUJ0102	Loppuneutralointi syötöpumppu 2 660SLJ0002:lä reaktoreille	1	2	0	1	2	0	1	280	60	0	200	0	20	
636PPUJ0104	Loppuneutralointi syötöpumppu 3 660SLJ0002:lä reaktoreille	1	2	0	1	2	0	1	280	60	0	200	0	20	
636PPUJ0105	Loppuneutralointi syötöpumppu 4 660SLJ0002:lä reaktoreille	1	2	0	1	2	0	1	280	60	0	200	0	20	
660SLJ0002	Kalkkimaidon varastosäiliö	1	2	4	1	4	0	2	580	60	80	400	0	40	
660SEK0001	Kalkkimaidon varastosäiliön sekoitin	1	0	2	1	3	2	2	440	0	40	300	60	40	
0572PPU4002	Kalkkimaidon syötöpumppu 1	4	2	0	1	2	0	1	1120	240	0	800	0	80	
0572PPU4003	Kalkkimaidon syötöpumppu 2	4	2	0	1	2	0	1	1120	240	0	800	0	80	
663KLLJ0001	Poltetun kalkin varastointi hihnakuljetin 1 vastaamotosta risteysasemal	4	0	0	0,3	0	0	1	80	0	0	0	0	80	
663KLLJ0002	Poltetun kalkin varastointi hihnakuljetin 2 risteysasemalla ja varastoon	1	0	0	0,3	0	0	1	20	0	0	0	0	20	
663KLLJ0003	Poltetun kalkin varastointi hihnakuljetin 3 jalko varastokasoihin	1	0	0	0,3	0	0	1	20	0	0	0	0	20	
663KLLJ0004	Poltetun kalkin varastointi hihnakuljetin 4 varastokasojen purku	4	0	0	0,3	1	0	0	120	0	0	120	0	0	
663KLLJ0005	Poltetun kalkin varastointi hihnakuljetin 5 siirto varastosta käsitelyyn	1	0	0	0,3	1	0	0	30	0	0	30	0	0	
663KLLJ0007	Poltetun kalkin varastointi siirtomootori (hihnakuljetin 3: n yhteydessä)	1	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
663PUH0001	Poltetun kalkin varastointi polynpoistopuhallin 1 vastaamotossa	1	2	2	0,3	0	0	1	120	60	40	0	0	20	
663PUH0002	Poltetun kalkin varastointi polynpoistopuhallin 2 risteysasemalla	1	2	2	0,3	0	0	1	120	60	40	0	0	20	
663PUH0003	Poltetun kalkin varastointi polynpoistopuhallin 3 varastossa	1	2	2	0,3	1	0	1	150	60	40	30	0	20	
663SSVJ0001	Poltetun kalkin varastointi sulkuosyötin 1 vastaamoton polynpoistoyksik	1	2	2	0,3	0	0	0	100	60	40	0	0	0	
663SSVJ0003	Poltetun kalkin varastointi sulkuosyötin 2 varastoinnin polynpoistoyksik	1	2	2	0,3	0	0	0	100	60	40	0	0	0	
663STMJ0001	Poltettu kalkin varastointi hihnasyötin (syötö purkausuppoilija)	4	0	0	0,3	1	0	1	200	0	0	120	0	80	
663STMJ0002	Poltetun kalkin varastointi tärysytin 1	1	0	0	0,3	0	1	0	30	0	0	0	30	0	
663STMJ0003	Poltetun kalkin varastointi tärysytin 2	1	0	0	0,3	0	1	0	30	0	0	0	30	0	
663STMJ0004	Poltetun kalkin varastointi tärysytin 3	1	0	0	0,3	0	1	0	30	0	0	0	30	0	
663STMJ0005	Poltetun kalkin varastointi tärysytin 4	2	0	0	0,3	0	1	0	60	0	0	0	60	0	
663STMJ0006	Poltetun kalkin varastointi tärysytin 5	2	0	0	0,3	0	1	0	60	0	0	0	60	0	

Terraframe Oy
Kalkkilaivos, Poltetun kaikin varastointi, käsittely ja syöttö
Miko Mäkitalo
V. 1
11.8.2017

Kriittisyyden raja-arvo 750
Tuotannon meneyksen painoarvokerroin Wp 100

Toimintopaikan tunnistus	Toimintopaikan nimitys	Vikaantumisväli (1,8)	Turvallisuus (0_16)	Ympäristö (0_16)	Lisäkerroin: Tuotannon meneyksen painoarvo (0_1)	Tuotannon meneyks (0_4)	Loppu- tuotteen laatuks- tannus (0_4)	Korjaus- kustannus (0_4)	Kriittisyy- indeksi	Kriittisyyden osaindeksit					
		Painoarvot W -->	30	20		100	30	20		K	Ks	Ke	Kp	Kq	Kr
663SLD0001	Poltetun kaikin varastointi poljinpoistojaksikko 1 vastaamotossa	1	2	2	0,3	0	0	1	120	60	40	0	0	0	20
663SLD0002	Poltetun kaikin varastointi poljinpoistojaksikko 2 risteysasemalla	2	2	2	0,3	0	0	0	200	120	80	0	0	0	0
663SLD0003	Poltetun kaikin varastointi poljinpoistojaksikko 3 varastossa	4	2	2	0,3	2	0	1	720	240	160	240	0	0	80
663SLP0001	Poltetu kaikin varastointi purkausupplio	1	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
664JHM0001	Poltetun kaikin käsittely sammutin	4	2	0	0,3	2	1	0	600	240	0	240	120	0	0
664KMP1001	Paineilmakompressor	1	0	0	0,7	2	0	1	160	0	0	140	0	0	20
664KLL0006	Poltetun kaikin käsittely hihnakuuletin 6 syöttö murskaimelle	4	0	0	0,3	2	0	1	320	0	0	240	0	0	80
664KLL0008	Poltetun kaikin käsittely ruuikuletin (syöttö murskaimella sammutime	2	2	0	0,3	2	0	0	240	120	0	120	0	0	0
664KLL0010	Poltetun kaikin käsittely hiekkaruvi	8	0	0	0,3	1	1	0	480	0	0	240	240	0	0
664KLL1001	Syöte purkuruvi 11 kaikin sammutus	4	2	0	0,35	2	0	1	600	240	0	280	0	0	80
664KLL1002	Syöte purkuruvi 2 kaikin sammutus	4	2	0	0,35	2	0	1	600	240	0	280	0	0	80
664KLL1100	Kalkin sammutus Pneumakuuletin 664SL10001	2	2	0	0,35	2	0	1	300	120	0	140	0	0	40
664KLL1200	Kalkin sammutus Pneumakuuletin 664SL10002	2	2	0	0,35	2	0	1	300	120	0	140	0	0	40
664LMS0001	Poltetun kaikin käsittely voiteluöljysäiliön lämmitin	1	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
664LWV0001	Poltetun kaikin käsittely voiteluöljysäiliön lämmitin	1	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
664MRK0001	Poltetun kaikin käsittely murskain	8	2	0	0,3	2	2	0	1440	480	0	480	480	0	0
664MTI0001	Poltetun kaikin käsittely metallipalasin hihnakuuletin 6/la	1	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
664PDU0001	Poltetun kaikin käsittely kalkkimaidon syöttöpumppu varastosäiliölle	1	2	0	0,3	2	0	1	140	60	0	60	0	0	20
664PDU0002	Poltetun kaikin käsittely murskaimen voiteluöljypumppu	1	0	2	0,3	0	0	0	40	0	40	0	0	0	0
664PDU1001	Pumppu 11 kaikin sammutus	1	2	0	0,35	2	0	1	150	60	0	70	0	0	20
664PDU1002	Pumppu 2 kaikin sammutus	2	2	0	0,35	2	0	1	300	120	0	140	0	0	40
664PDU1004	Pumppu 4 kaikin sammutus	8	2	0	0,35	2	0	1	1200	480	0	560	0	0	160
664PDU1005	Pumppu 5 kaikin sammutus	8	2	0	0,35	2	0	1	1200	480	0	560	0	0	160
664PDUH0001	Poltetun kaikin käsittely sammutimen ruuveluspuhallin	1	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
664PEA1001	Reaktor 1 vaihe 1 kaikin sammutus	1	2	0	0,35	2	0	1	150	60	0	70	0	0	20

Terrafame Oy
Kalkkikaitos, Poltetun kalkin varastointi, käsitely ja syöttö
Miko Mäkitalo
V.1
11.8.2017

V.1

11.8.2017

Tuotannon menetyksen painoarvokerroin Wp

750

100

Toimintopaikan tunnistet

Toimintopaikan nimitys

Vikaan-tunnistaväli (T-8)

Turvallisuus (0-16)

Ympäristö 0-16

Lisäkerroin: Tuotannon menetyksen painoarvo (0-1)

Tuotannon menetyksen määrä (0-4)

Loppu-tuotteen laatuks-tannus (0-4)

Korjaus-kustannus (0-4)

Kriittisyyden indeksit

Ks

Ke

Kp

Kq

Kr

664FEA1002

Reaktor 2 vaihe 1 kalkin sammutus

1

2

0

0,35

2

0

1

150

60

0

70

0

20

664FEA1003

Reaktor 1 vaihe 2 kalkin sammutus

1

2

0

0,35

2

0

1

150

60

0

70

0

20

664FEA1004

Reaktor 2 vaihe 2 kalkin sammutus

1

2

0

0,35

2

0

1

150

60

0

70

0

20

664SEK1001

Sekoitin 1 vaihe 1 kalkin sammutus

2

2

0

0,35

1

2

1

350

120

0

70

120

40

664SEK1002

Sekoitin 2 vaihe 1 kalkin sammutus

4

2

0

0,35

1

2

1

700

240

0

140

240

80

664SEK1003

Sekoitin 1 vaihe 2 kalkin sammutus

1

0

0

0,35

1

2

1

115

0

0

35

60

20

664SEK1004

Sekoitin 2 vaihe 2 kalkin sammutus

1

0

0

0,35

1

2

1

115

0

0

35

60

20

664SEU1001

Sammuteun kalkin täyryseula

8

2

0

0,7

1

1

1

1440

480

0

560

240

160

664SIL10001

Vaastosilo 1, kalkin sammutus 2

8

2

2

0,35

2

0

0

1360

480

320

560

0

0

664SIL1001

Syötösilo kalkin sammutus 2

2

2

0

0,7

2

0

0

400

120

0

280

0

0

664SIL1002

Vaastosilo 2, kalkin sammutus 2

4

2

2

0,35

2

0

0

680

240

160

280

0

0

664SIL10001

Poltetun kalkin käsitely murkaimen voiteluyhtys sillo

1

0

2

0,3

1

0

0

70

0

40

30

0

0

664SIL10011

664SIL10001:N ANNUSTELUSÄILÖ

1

0

0

0,35

2

0

1

90

0

0

70

0

20

664SIL10012

664SIL1002:N ANNUSTELUSÄILÖ

1

0

0

0,35

2

0

1

90

0

0

70

0

20

664SL11003

Paneeliasäiliö

1

0

0

0,7

3

0

1

230

0

0

210

0

20

664SSY1001

Sulkusyötin 1 kalkin sammutus

4

0

0

0,35

1

0

0

140

0

0

140

0

0

664SSY1002

Sulkusyötin 2 kalkin sammutus

4

0

0

0,35

1

0

0

140

0

0

140

0

0

664SLUD1001

Suodatin, vaastosilo 1

4

2

2

0,35

2

0

1

760

240

160

280

0

80

664SLUD1001

Pölysuodatin syötösilo kalkin sammutus

4

2

0

0,7

2

0

1

880

240

0

560

0

80

664SLUD1002

Suodatin, vaastosilo 2

4

2

2

0,35

2

0

1

760

240

160

280

0

80

664SLUD1003

Raakaveden suodatin

1

0

0

0,7

0

0

0

0

0

0

0

0

0

664SUP10001

Poltetun kalkin käsitely murkaimen syötösupplio

2

2

0

0,3

1

0

0

180

120

0

60

0

0

664SUP1001

Syötösupplio 1 kalkin sammutus

1

2

0

0,35

2

0

1

150

60

0

70

0

20

664SUP1002

Syötösupplio 2 kalkin sammutus

1

2

0

0,35

2

0

1

150

60

0

70

0

20

664YL1A0001

Poltetun kalkin käsitely vaihtolava 1

1

0

0

0,3

0

0

0

0

0

0

0

0

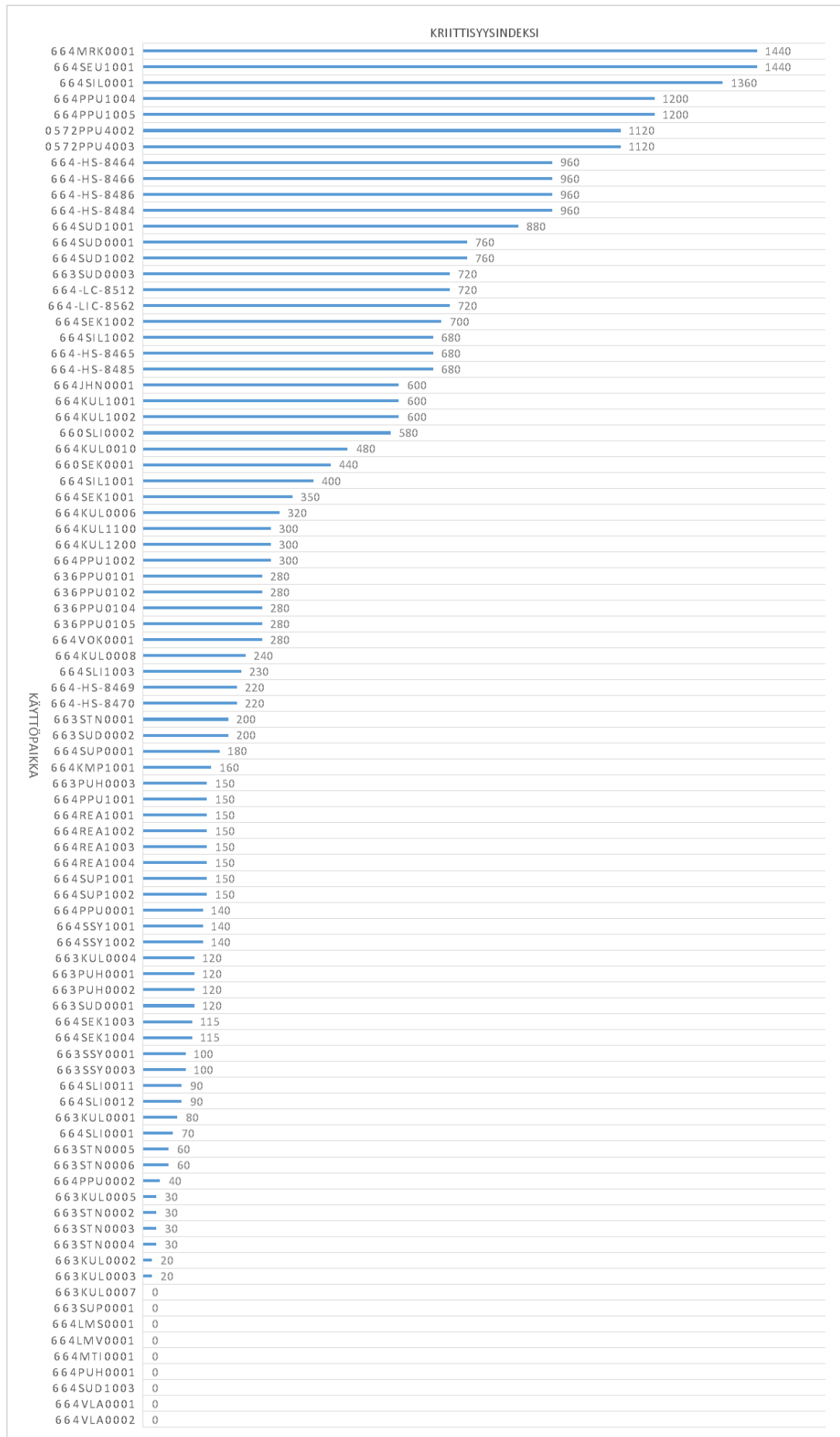
0

Krittisyyden raja-arvo 750
Tuotannon menetyksen painoarvokerroin Wp 100

Terrafame Oy
Kalkkilaatos, Poltetun kalkin varastointi, käsittely ja syötö
Miko Mäkitalo
V.1
11.8.2017

Kriittisyden raja-arvo 750
Tuotannon menetyksen painoarvokerroin w/p 100

Toimintopaikan tunnistus	Toimintopaikan nimitys	Vikaantumisvähi (1-8)	Turvallisuus (0-16)	Ympäristö 0-16	Lisäkerroin: Tuotannon menetyksen painoarvo (0-1)	Tuotannon menetyksen (0-4)	Lopputuotteen laatuks-tuus (0-4)	Korjaus-kustannus (0-4)	Kriittisyys-indeksi	Kriittisyden osaindeksit					
		Painoarvo w-->	30	20		100	30	20		K	Ks	Ke	Kp	Kq	Kr
664VLA0002	Poltetun kalkin käsittely vaihtolava 2	1	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
664VDC0001	Poltetun kalkin käsittely murusaimen voitelukoneikko	4	0	2	0,3	1	0	0	280	0	0	160	120	0	0
664-HS-8464	664SEU1001EKM REA1002.LTA	8	0	0	0,35	2	1	1	960	0	0	560	240	160	160
664-HS-8465	664REA1002 KIERPÄTYS EKM	8	0	0	0,35	1	1	1	680	0	0	280	240	160	160
664-HS-8466	664REA1002 SILKU EKM	8	0	0	0,35	2	1	1	960	0	0	560	240	160	160
664-HS-8469	664REA1003 EKM	4	0	0	0,35	1	0	1	220	0	0	140	0	80	80
664-HS-8470	664REA1004 EKM	4	0	0	0,35	1	0	1	220	0	0	140	0	80	80
664-HS-8484	664SEU1001EKM REA1001.LTA	8	0	0	0,35	2	1	1	960	0	0	560	240	160	160
664-HS-8485	664REA1001 KIERPÄTYS EKM	8	0	0	0,35	1	1	1	680	0	0	280	240	160	160
664-HS-8486	664REA1001 SILKU EKM	8	0	0	0,35	2	1	1	960	0	0	560	240	160	160
664-LC-8512	664REA1004 PINNIA	8	0	0	0,35	2	0	1	720	0	0	560	0	160	160
664-LC-8562	PEAKTORI3 SAMMUTETTUKALKKI	8	0	0	0,35	2	0	1	720	0	0	560	0	160	160
									0	0	0	0	0	0	0
									0	0	0	0	0	0	0
									0	0	0	0	0	0	0
									0	0	0	0	0	0	0
									0	0	0	0	0	0	0



[illegible]

[illegible]